

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL  
Département du CIRAD  
45bis, avenue de la Belle Gabrielle  
94736 NOGENT SUR MARNE CEDEX - FRANCE  
Tél. (1) 43 94 43 00  
Télécopie (1) 43 94 43 29  
Télex 264653



MISE EN PLACE D'UNE METHODOLOGIE  
DE CARACTERISATION DES EUCALYPTUS  
DE PLANTATION A CROISSANCE RAPIDE



Rapport couvrant la deuxième tranche de la convention FFN/CTFT

Jean GERARD

Mars 1991

# SOMMAIRE

## 1. RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROGRAMME DE RECHERCHE ET DES RESULTATS DE LA PREMIERE PHASE DU PROGRAMME

### 1.1 Objectifs

### 1.2 Résultats

#### 1.2.1 Contraintes de croissance

#### 1.2.2 Hétérogénéité radiale des retraits linéaires

## 2. ORGANISATION DES TACHES DURANT LA DEUXIEME PHASE DU PROGRAMME

### 2.1 Analyse bibliographique

### 2.2 Expérimentations

## 3. EXPERIMENTATIONS MENEES SUR LES EUCALYPTUS CONGOLAIS

### 3.1 Essais in situ

#### 3.1.1 Echantillonnage

#### 3.1.2 Mesures périphériques de contraintes de croissance

#### 3.1.3 Ouverture de billons et mesures de déformations

#### 3.1.4 Sciage de plateaux centraux et mesures de fentes

#### 3.1.5 Annélation des Eucalyptus sur pied

### 3.2 Essais de laboratoire

3.2.1 Densité

3.2.2 Retraits linéaires totaux transversaux : retrait radial et retrait tangentiel

3.2.3 Retrait linéaire longitudinal

#### 4. TRAITEMENT DES DONNEES ET SYNTHESE DES RESULTATS

4.1 Contraintes de croissance et déformations de sciage

4.1.1 Prédiction des déformations de quartier après ouverture partielle des billons

4.1.2 Comparaison inter-espèces et inter-âges des microdéformations périphériques

4.1.3 Relation entre les fentes de coeur sur les plateaux centraux et les déformations périphériques de surface

4.1.4 Effet "espacement de plantation" sur le niveau de contraintes périphériques des arbres sur pied

4.2 Variations radiales des propriétés physiques

4.2.1 Densité (à 12 % d'humidité)

4.2.2 Retrait total tangentiel

4.2.3 Retrait total radial

4.2.4 Retrait total longitudinal

#### 5. CONTINUATION DU PROGRAMME DE RECHERCHES CONJOINTES

5.1 Schéma général des recherches à venir

5.2 Descriptif de la phase 3 (tache impartie au CTFT) : informations recherchées et moyens d'investigations

5.2.1 Hétérogénéité de l'état physico-mécanique de l'arbre sur pied : bois de tension et bois juvénile

5.2.2 Fil tors et contrefil

5.2.3 Nature et moyens d'étude des caractéristiques physiques et mécaniques

5.2.3.1 Caractéristiques physiques

5.2.3.2 Caractéristiques mécaniques

5.2.3.3 Périodicité des mesures

5.2.3.4 Cas du collapse

5.2.3.5 Mesures de contraintes périphériques

5.3 Echantillonnage

Annexes : Communication au X<sup>ème</sup> Congrès Forestier Mondial 1991 (PARIS)



## 1. RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROGRAMME DE RECHERCHE ET DES RESULTATS DE LA PREMIERE PHASE DU PROGRAMME

### 1.1 OBJECTIFS

*La problématique "Eucalyptus de plantation" est directement liée aux facteurs limitant la valorisation de ces espèces sous forme de bois d'oeuvre:*

- *contraintes de croissance qui se développent dans les arbres sur pied et qui sont à l'origine de fentes et de déformations des bois durant le sciage,*
- *déformations et fentes de séchage dues :*
  - . *aux retraits élevés anisotropes et d'intensité variable au sein de l'arbre, éventuellement en relation avec la présence de bois juvénile et de bois de tension,*
  - . *au collapse.*

L'objectif général des recherches est de mettre en place une méthode d'étude et de caractérisation des Eucalyptus de plantation, et plus généralement des bois de plantation.

Les tests conventionnels de laboratoire effectués en routine sur les bois tropicaux de forêt naturelle ne permettent pas de définir la qualité des espèces de plantation dont l'hétérogénéité intrinsèque des propriétés n'est pas prise en compte.

La méthode de caractérisation doit de plus intégrer une qualification et quantification de comportements particuliers du bois, principalement les contraintes de croissance et l'effet du collapse.

Le fait de travailler sur des espèces à croissance rapide implique de plus la prise en compte du mode de formation du bois et de la présence de bois juvénile dont les propriétés et l'effet sur l'état de contrainte et l'état physico-mécanique du bois sont à définir.

### 1.2 RESULTATS

Lors de la première campagne d'essais au Congo, deux types d'expérimentation avaient été réalisés :

- *mesures de contraintes périphériques sur les arbres sur pied,*
- *étude des déformations du bois lors de l'ouverture de billons.*

Au laboratoire de Nogent sur Marne, l'hétérogénéité radiale des propriétés physiques des bois avait été caractérisée sur des barrettes

radiales de faible section (1 x 1 cm) à l'aide d'un instrument piloté par ordinateur conçu au CTFT.

Ce type d'instrument est aussi adapté à des mesures sur carottes de sondage, éprouvettes d'essais prélevées de façon non destructive dont l'utilisation avait été écartée en raison des difficultés de prélèvement sur le terrain (bois d'Eucalyptus très dur, et surtout blocage fréquent de la tarière par la libération locale de contraintes de croissance).

### 1.2.1 Contraintes de croissance

Le traitement des données avait montré une très bonne relation entre les déformations "en vraie grandeur" des bois après ouverture des billons en 4 quartiers, et les microdéformations périphériques pondérées par la densité du bois en surface, la densité globale du bois dans le sens transversal, le diamètre des tiges.

Différents aspects de la procédure expérimentale restaient cependant à améliorer, notamment :

- \* A une hauteur donnée, optimisation du nombre de mesures périphériques à réaliser afin d'avoir une bonne représentation de l'hétérogénéité tangentielle de la répartition des contraintes dans la tige.

De façon aléatoire, 3 à 5 mesures avaient été réalisées sur chaque arbre durant la première campagne.

Le dépouillement des résultats a mis en évidence une évolution tangentielle des contraintes périphériques suivant une loi exponentielle à trois paramètres du type :

$$\epsilon = b + a \cos (\theta - \Phi)$$

avec  $\epsilon$  = valeur de la microdéformation

$\theta$  = azimut de la mesure

La détermination des paramètres de cette loi ainsi que la formule de répartition des contraintes dans le sens radial nécessitent la réalisation de 4 mesures (ou multiple de 4) par arbre. C'est ce qui a été fait durant la deuxième campagne.

- \* Le mode d'ouverture des billons se devait d'être amélioré en utilisant une scie à ruban (et non plus une tronçonneuse).

L'écartement des quartiers de billons devait être aussi quantifié de façon plus précise, en particulier pour tenir compte de l'hétérogénéité tangentielle des courbures prises par les 4 quartiers.

### 1.2.2 Hétérogénéité radiale des retraits linéaires

La géométrie des éprouvettes de faible section et présentant un fort

élancement comporte un inconvénient majeur :

ces barrettes ont tendance à se déformer dans le sens transversal (par rapport à l'axe de la barrette).

La mesure du retrait tangentiel et du retrait longitudinal est apparue parfois entachée d'une erreur importante, conduisant dans certains cas à la mise en évidence de comportements aberrants du bois ("gonflement" de séchage par exemple). Le phénomène est largement amplifié par le collapse.

De plus, il apparaît aussi nécessaire d'étudier la variation radiale de retrait radial.

De ce fait, un retour à une utilisation d'éprouvettes standard est apparu plus judicieux (éprouvettes 2x2x1 cm ou 4x4x1 cm). La détermination d'un retrait linéaire en un point donné entre le coeur et la périphérie est ainsi indépendante des mesures voisines qui ne se trouvent pas affectées par un éventuel comportement particulier de l'éprouvette considérée (importante déformation due à une singularité de structure ou au collapse).



## 2. ORGANISATION DES TACHES DURANT LA DEUXIEME PHASE DU PROGRAMME

### 2.1 ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

L'analyse bibliographique s'est poursuivie sur les trois composantes majeures de la problématique Eucalyptus :

- les contraintes de croissance,
- les déformations de séchage,
- le collapse.

Dans la suite du texte, des informations issues de la littérature illustreront chacun des thèmes de l'étude expérimentale.

Pour le thème "contraintes de croissance", on peut citer prioritairement les travaux majeurs de Kubler (1987) qui font le point sur le sujet, depuis l'explication de l'origine du phénomène et la présentation d'un modèle mécanique permettant de décrire la répartition des contraintes dans les arbres sur pied, jusqu'aux méthodes et procédés techniques permettant de s'affranchir des effets néfastes dus à la libération de ces contraintes.

Les travaux de Fournier (1989, diffusion 1990) sur la mécanique de l'arbre sur pied et les déformations de maturation conduisent à une méthode d'investigation qui pourra constituer une référence pour les travaux ultérieurs (cf. chapitre 5).

Fournier définit notamment une formulation unidirectionnelle dissymétrique qui permet de "décrire la distribution des contraintes longitudinales en tenant compte de nombreuses particularités qui restent évaluables par des protocoles expérimentaux usuels : un ordre de grandeur de l'hétérogénéité angulaire peut être estimé par quatre (ou huit) mesures de déformations résiduelles à la surface, éventuellement complétées par des coupes anatomiques pour détecter la présence de bois de réaction".

Cette formulation est la suivante :

$$\sigma_{zz}(r, \theta) = - S_{33}^{-1} A_{MOLL} (1 + 2 \log r/R_f) - S_{33}^{-1} A'_{MLL} (4r/R_f - 3) \sin \theta$$

avec :

$\sigma_{zz}(r, \theta)$  = contrainte longitudinale fonction de  $r$  et  $\theta$

$S_{33}^{-1}$  = module d'Young longitudinal moyen du bois (vert)

$A_{MOLL}$  = moyenne des déformations résiduelles longitudinales mesurées à la surface lors de la libération des contraintes

$A'_{MLL}$  = expression de la dissymétrie angulaire, estimable grossièrement par la demi-différence entre les déformations résiduelles mesurées sur



la face supposée "tendue" et la face supposée "comprimée", ou plus rigoureusement par un lissage des déformations mesurées en plusieurs points de la surface par une courbe  $A_{MOLL} + A'_{MLL} \sin \theta$

Fournier prend en compte les effets du bois de tension et du bois juvénile, bois "anormaux" probablement fréquents au sein des Eucalyptus de plantation.

## 2.2 NATURE DES EXPERIMENTATIONS

On distinguera deux types d'essais et expérimentations :

- les travaux de terrain menés durant la mission au Congo,
- les essais de laboratoire réalisés sur des échantillons ramenés de Pointe-Noire et prélevés à l'issue des expérimentations de terrain.

\* Au Congo, après que le plan d'échantillonnage ait été établi avec les forestiers locaux, quatre principaux types de tests et expérimentations ont été réalisés :

- sur les arbres sur pied, mesures de déformations de surface dues à la libération locale des contraintes de croissance à l'aide de l'Extensomètre Mécanique Unidirectionnel conçu au CTFT ; à l'issue de la précédente campagne de mesures, cet instrument avait été amélioré dans son principe de fonctionnement (renforcement du calibre de mesure, amélioration du système de fixation du cadre de mesure sur l'arbre sur pied),
- après abattage et billonnage des arbres, ouverture des billons en quatre quartiers (principe identique à celui adopté durant la première campagne) et quantification de la géométrie des déformations des quartiers,
- sciage de billons et prélèvement d'un plateau central ; quantification de la géométrie des 2 fentes de coeur de chaque plateau,
- sur quelques individus, après mesure des déformations de surface, annélation des troncs avec pour objectif une relaxation progressive des contraintes dans les arbres sur pied.

\* Au laboratoire de Nogent/Marne ont été ramenés des échantillons prélevés dans les plateaux centraux sciés au Congo ; sur ces portions de plateaux ont été prélevées des éprouvettes pour les essais de laboratoire:

- répartition radiale :
  - . de densité
  - . des trois retraits linéaires de séchage
- étude du collapse (en cours)

### 3. EXPERIMENTATIONS MENEES SUR LES EUCALYPTUS CONGOLAIS

#### 3.1 ESSAIS IN SITU

##### 3.1.1 Echantillonnage

Durant la première campagne d'essais, les expérimentations avaient uniquement porté sur des espèces pures sélectionnées parmi celles les mieux adaptées aux conditions locales.

Durant la seconde campagne, une de ces espèces pures a de nouveau été étudiée (*E. cloeziana*), ainsi que deux des hybrides considérés comme les plus prometteurs pour les plantations industrielles clonales de l'U.A.I.C. :

- . Hybride *urograndis* (*E. urophylla* x *E. grandis*)
- . Hybride *uropellita* (*E. urophylla* x *E. pellita*).

Ces *Eucalyptus* sont les résultats des travaux menés par les forestiers du CTFT en matière d'hybridation contrôlée.

De plus, des mesures ont été réalisées sur le clone 1.41 de l'hybride PF1 pour estimer l'effet "écartement de plantation" sur le développement des contraintes de croissance dans les arbres sur pied.

Enfin, les individus qui ont été annelés sont des PF1, parcelle 69.

##### \* Détail de l'échantillonnage

<i>E. cloeziana</i>	parcelle OCF 78	---> 5 individus (12 ans)
		(diamètre 23 cm --> 27 cm)
	parcelle 71.6	---> 5 individus (19 ans)
		(diamètre 21 cm --> 25 cm)
<i>E. urograndis</i>	parcelle 80.31	---> 5 individus (10 ans)
		(diamètre 26 cm --> 29 cm)
<i>E. uropellita</i>	parcelle 80.31	---> 5 individus (10 ans)
		(diamètre 23 cm --> 27 cm)
<i>E. PF1</i>	parcelle <del>79.22</del> 77.14	(essais écartement)
		---> 6 individus (11 ans)
		(6x6 m) (diamètre 26 cm --> 28 cm)
		---> 6 individus (11 ans)
		(3x3 m) (diamètre 20 cm --> 23 cm)
<i>E. PF1</i>	parcelle 69	---> 4 individus (21 ans)
		essais annélation
		(diamètre 23 cm --> 33 cm)

### 3.1.2 Mesures périphériques de contraintes de croissance

Jacobs (1938-1939) est à l'origine des deux plus importantes découvertes en matière de contraintes de croissance.

\* Il se rendit compte que les contraintes de croissance prennent leur origine dans l'assise cambiale, au niveau de la zone de croissance en épaisseur de l'arbre, où les cellules nouvelles génèrent les déformations de maturation périphériques.

\* Ensuite, Jacobs mis en évidence que les déformations de maturation demeurent quasi constantes durant toute la vie de l'arbre.

Ces découvertes incontestées découlent de mesures de déformations longitudinales périphériques réalisées par Jacobs sur plus de 200 *E. gigantea* (*E. delegatensis*), ainsi que sur de nombreuses autres essences.

Dans la littérature, il apparaît que la plupart des mesures de déformations périphériques ont été effectuées sur des espèces pour lesquelles la libération des contraintes de croissance constitue un handicap technologique majeur : essentiellement le Hêtre et les Eucalyptus.

Leurs déformations moyennes sont très élevées bien que d'autres feuillus apparaissent aussi fortement contraints.

A ce sujet, il faut savoir que le niveau de contraintes de croissance peut varier dans de grandes proportions au sein d'une espèce donnée et que des mesures réalisées sur un petit nombre d'individus ne sont pas représentatives du comportement général de cette espèce.

Il faut aussi noter que la formation de nouvelles couches d'écorce peut générer des déformations de maturation (Kraus 1867, Okuyama et al. 1981).

Dans les conifères, les contraintes de croissance sont relativement limitées, excepté dans le bois de compression où leur intensité peut être aussi élevée que celle des contraintes de tension dans les feuillus.

A partir d'observations sur des Pins *radiata* et sur d'autres résineux, Jacobs conclut que les conifères développent d'abord des contraintes de compression durant les premières années de leur croissance, les contraintes de tension n'apparaissant que plus tard.

La transition [compression ---> tension] coïncide avec l'augmentation des longueurs de trachéides.

Pour certains jeunes résineux tel que le *Cryptomeria japonica* (Tsutsumi et Kojimo 1963, Watanabe 1965), la périphérie des tiges est cependant soumise à des contraintes de tension.

Les effets néfastes causés par les contraintes de croissance peuvent être dus à leur intensité moyenne élevée, ou à leur répartition hétérogène au sein de chaque arbre.



Les contraintes peuvent varier considérablement au sein de l'arbre chez les Eucalyptus ou les Hêtres.

Nicholson (1973) a mis en évidence d'importantes variations chez des E. regnans, alors que Mayer-Wegelin (1955) observe de grandes différences d'un arbre à l'autre dans des peuplements de Hêtre.

Trenard et Guéneau (1975), puis Saurat et Guéneau (1976) ont étudié de façon très approfondie des variations intra-arbres chez le Hêtre.

A raison de 5 mesures périphériques par arbre, ils ont analysé 86 individus dans différentes régions de France.

L'écart-type des déformations périphériques ( $833 \mu\epsilon$ ) est apparu presque aussi élevé que leur moyenne ( $973 \mu\epsilon$ ).

L'écart-type intra-arbre s'élève à  $458 \mu\epsilon$ .

D'importantes variations de contraintes de croissance ont été aussi mises en évidence par Yao (1979) dans trois feuillus nord-américains avec des déformations mesurées à une hauteur donnée variant suivant un rapport de 3 au sein de trois arbres par espèce.

Pour les essais sur les Eucalyptus congolais, compte tenu de ces considérations et du paramétrage de la formulation unidirectionnelle de Fournier, 4 mesures périphériques ont été réalisées sur chaque Eucalyptus échantillonné, chaque mesure étant distante de la mesure suivante d'un arc de  $\pi D / 4$  ( $D$  = diamètre de l'arbre à  $H = 1,5$  m).

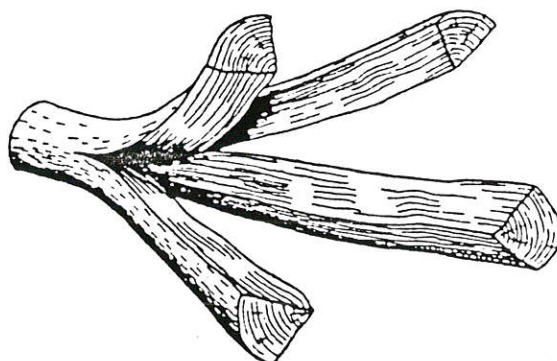
Les mesures ont été orientées en fonction du déjettement des houppiers. La position de chaque mesure a été repérée sur l'arbre pour les essais ultérieurs.

La circonférence de chaque individu a été mesurée au mètre à ruban à  $H \approx 1,5$  m.

La longueur totale des fûts a été relevée à l'aide d'un décamètre après abattage.

### 3.1.3 Ouverture de billons et mesures de déformations

Chez de nombreuses espèces, l'ouverture de l'extrémité des billes par relaxation localisée des contraintes de croissance constitue un défaut majeur qui décline les grumes, même pour des emplois en bois de feu.



Severe end-splitting in a European beech log (Mayer-Wegelin and Mammen 1954)



Chez la plupart des *Eucalyptus*, l'extrémité des billes a tendance à se fendre de façon prononcée, certaines espèces étant plus sensibles que d'autres (de Villiers 1973).

Scott (1950) estime que les pertes dues aux fentes en bout sur des sciages d'*Eucalyptus* avoisinent 7 à 12 %.

Certaines espèces, telle *E. grandis*, apparaissent mieux adaptées à une utilisation sous forme de poteaux car les billes ont peu tendance à se fendre en bout (Tisseverasinghe 1967, Barnacle et Christensen 1968).

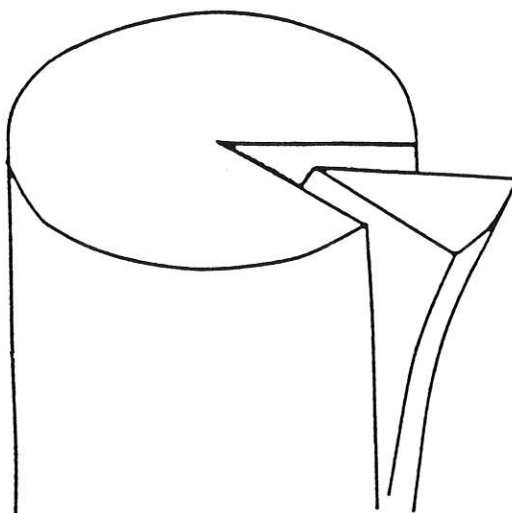
Partout où les *Eucalyptus* ont été introduits en dehors de leur aire naturelle australienne, les forestiers ont été fortement intéressés par leur croissance importante et leur utilisation possible sous forme de perches, de poteaux, ou en tant que matière première pour la pâte à papier, mais leur utilisation sous forme de sciage a toujours été limitée à cause du problème d'éclatement de l'extrémité des grumes (Jacobs 1966).

Pour comprendre ce mécanisme, il faut dans un premier temps considérer le phénomène de relaxation des contraintes lors du tronçonnage.

Cette relaxation diminue de façon inversement proportionnelle à la distance à l'extrémité des billes, jusqu'à une longueur égale à :

- 1,2 x diamètre, en périphérie ) selon les travaux de Wilhelmy
- 2,4 x diamètre, au coeur ) et Kubler (1973) et Boyd (1950)

L'expansion longitudinale du coeur combinée à la contraction du bois en périphérie tend à déformer une "portion" de bois suivant le schéma ci-dessous.



Effect of release of longitudinal growth strains on a wedge section (Wilhelmy and Kubler 1973a)

Cette expansion est potentielle à l'extrémité des grumes intactes et tend à faire augmenter le diamètre des grumes, phénomène quantifié par Kubler (1959) puis modélisé par Kubler et Wilhelmy (1973).

L'objectif des expérimentations réalisées sur les Eucalyptus congolais est de contrôler et guider l'ouverture de l'extrémité de billes d'Eucalyptus en pratiquant deux traits de scie en croix de façon à ce que les 4 quartiers isolés se déforment sans se fendre suivant le même principe que celui schématisé sur la figure précédente.

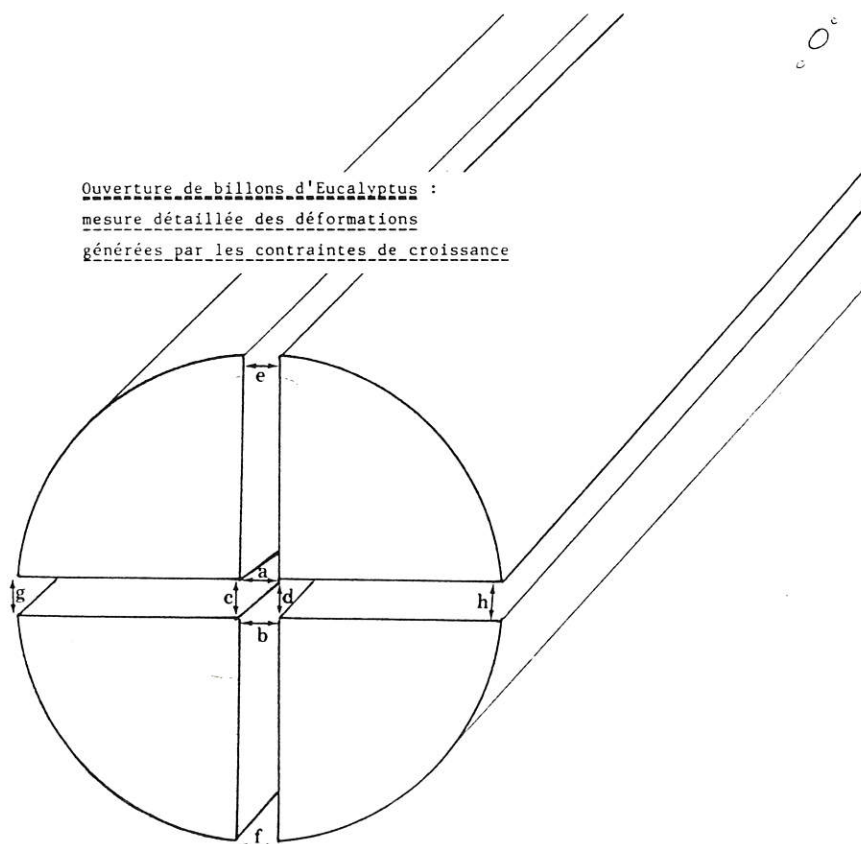
Après abattage, les billes d'Eucalyptus ont été tronçonnées en billes de 1,5 m de longueur.

Les billes de pied ont été utilisées pour ces premières expérimentations.

Chaque bille a été ouverte 2 fois sur une longueur de 0,75 m de façon à isoler 4 quartiers qui se sont déformés comme des poutres encastées, l'encastrement étant localisé en milieu de bille.

Les billes ont été ouvertes côté fin bout (au niveau de la mesure de déformations périphériques) à l'aide d'un ruban horizontal, de façon à ce que les mesures de déformations périphériques se situent au milieu de l'arc de chaque quartier.

Après ouverture, les déformations de chaque quartier ont été quantifiées par 8 paramètres selon le schéma ci-dessous.



### 3.1.4 Sciage de plateaux centraux et mesures de fentes

Les extrémités des plateaux centraux ont tendance à se fendre au niveau du coeur (Jacobs 1938).

Les fentes s'initient aux extrémités et peuvent se prolonger jusqu'à se rejoindre, divisant le plateau en deux (Jacobs 1938, Scott 1950, Strikha 1955).

Le tronçonnage libère des contraintes longitudinales uniquement aux extrémités des billes, sauf si une fente importante préexiste.

Tronçonner l'extrémité fendue relaxe les contraintes résiduelles et provoque une extension de la fente.

Un tronçonnage répété peut aboutir au fendage de la planche entière sans application d'aucune contrainte radiale extérieure (Jacobs 1938).

Un sciage sur dosse a peu tendance à se fendre, mais se déforme (flèche de face ou gauchissement).

Les débits sur faux- quartier se fendent peu (Scott 1950, Strikha 1955, Giordano et Ghisi 1965, de Villiers 1973).

La tendance à l'éclatement et la contrainte radiale associée diminuent lorsqu'on s'éloigne de l'extrémité (Strikha 1955) jusqu'à s'annuler, comme cela a été vu pour les grumes.

Aux extrémités de planches de faible longueur, les contraintes sont moindres que pour des planches plus longues ; par conséquent des sciages courts se fendent moins que des sciages longs.

Selon les observations de Strikha (1955), la tension radiale aux extrémités atteint son niveau maximum dans des plateaux d'une longueur supérieure à 12 fois le diamètre de la tige.

De façon analytique, Vendhan et Archer (1977) déterminent des longueurs critiques beaucoup plus faibles.

Les planches se fendent davantage lorsque le coeur est centré par rapport aux deux rives (Strikha 1955).

Des plateaux centraux larges se fendent généralement davantage que des plateaux étroits (Jacobs 1938 ; Scott 1950).

La tendance à la fente dépend du rapport entre l'épaisseur et la largeur du plateau.

Sur des débits de Peuplier de droit fil, des fentes en bout importantes apparaissent pour des largeurs de plus de 30 cm (Denig et al 1985).

L'influence de la largeur des sciages sur le développement de fentes en bout permet d'expliquer que les sciages prélevés dans la bille de pied se fendent davantage que ceux prélevés dans la surbille de plus faible diamètre (Onodera et Yamamoto 1976).

Des sciages prélevés dans des arbres à "brittleheart" (coeur fragile) se fendent relativement peu, probablement parce que l'effondrement du coeur a libéré partiellement des contraintes longitudinales (de Villiers 1973).



Les distributions de contraintes dans les débits centraux ont été analysées par Gillis (1973), Beck (1974), Vendhan et Archer (1977).

Les contraintes radiales calculées sont apparues plus importantes près du coeur à l'extrémité de la planche, au niveau du démarrage de la fente.

L'objectif de la seconde série d'expérimentations sur les Eucalyptus congolais concernant les effets induits par la libération des contraintes, est de relier le niveau des fentes de coeur qui se développent sur des plateaux centraux aux mesures périphériques de déformations.

Pour ce faire, les surbilles ( $L = 1,5$  m) des Eucalyptus échantillonnés ont été utilisées.

Le sciage a été réalisé à l'aide d'un ruban horizontal.

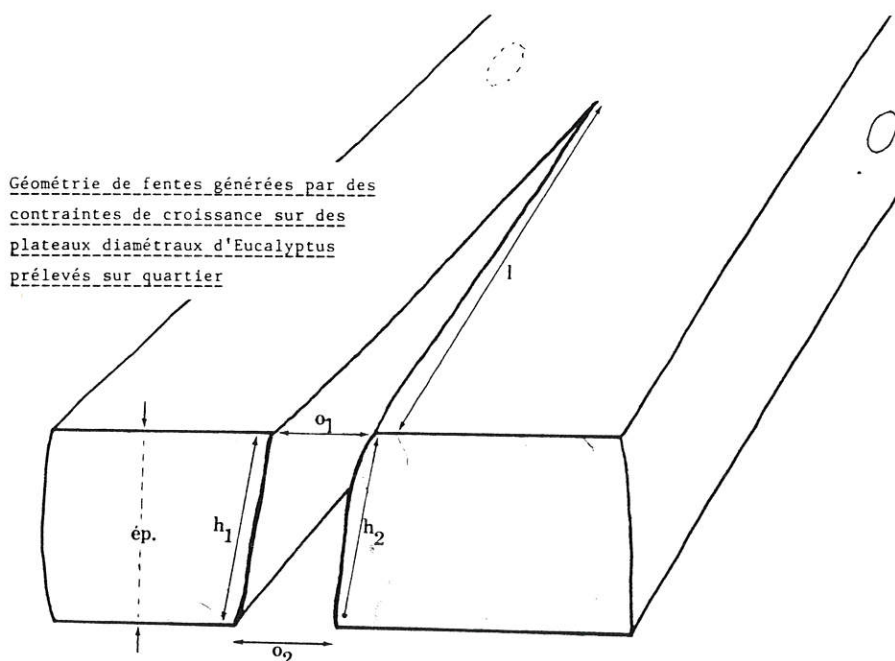
Pour chaque bille, un premier trait de scie a permis d'éliminer une dosse, un second trait de scie permettant d'isoler le plateau central ( $e \approx 5$  cm).

Chaque plateau central a été prélevé de façon à ce que ses deux rives correspondent aux deux mesures médianes de déformations périphériques, entre le maximum et le minimum mesurés.

Le plan RL du plateau est donc perpendiculaire au plan RL de la grume passant par les extrêmes de déformations périphériques. La libération des contraintes de croissance a induit l'apparition de fentes de coeur aux deux extrémités de chaque plateau.

Les fentes ont été quantifiées à l'aide de 6 paramètres ( $\text{ép}$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $o_1$ ,  $o_2$ ,  $l$ ) selon le schéma ci-dessous.

Comme pour les expérimentations précédentes, les ouvertures ont été mesurées à l'aide d'un réglet gradué au mm.





### 3.1.5 Annélation des Eucalyptus sur pied

Il existe deux méthodes similaires d'annélation des tiges d'Eucalyptus sur pied dont l'objectif est de limiter les effets néfastes dus à la libération des contraintes de croissance à l'abattage.

La première méthode ("girdling") consiste à réaliser un trait de scie tout autour de l'arbre à une certaine distance en-dessous de la hauteur présumée de tronçonnage.

Le trait de scie doit induire une libération progressive des contraintes de croissance dans l'arbre sur pied.

La seconde méthode ("circumferential kerfing") consiste à réaliser deux traits de scie circulaire de part et d'autre de la zone de tronçonnage.

Wilhelmy et Kubler (1973), puis de façon approfondie Kubler et Chen (1975) ont analysé les effets de l'annélation sur le champ de contraintes transverses.

Ces auteurs montrent que l'efficacité de l'annélation augmente avec la profondeur du trait de scie.

Pour des traits de scie d'une profondeur égale au tiers du diamètre de la tige, la distance optimum de trait de tronçonnage à l'annélation est égale au quart du diamètre.

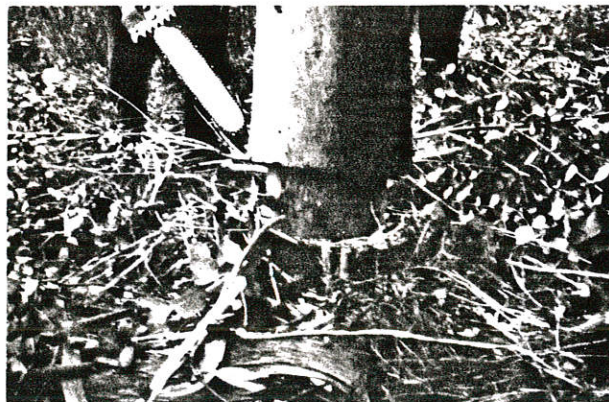
Une telle annélation diminue d'un tiers les déformations dues au tronçonnage.

De nombreuses expérimentations in situ ont montré le bien fondé de ces résultats théoriques, et ont mis en évidence que la méthode d'annélation permet de limiter les fentes en bout (Barnacle et Gottstein 1968, Malan 1979,...).

Le principe d'annélation a été retenu et testé sur quatre Eucalyptus PF1 âgés de 21 ans disponibles dans un ancien essai CTFT. Quatre mesures périphériques de déformation ont été effectuées préalablement.

Les traits de scie tout autour de chaque arbre ont été réalisés à l'aide d'une tronçonneuse (profondeur du trait de scie  $\approx$  rayon/3).

Les effets de cette annélation seront analysés lors de la prochaine campagne de mesures au Congo.



### 3.2 ESSAIS DE LABORATOIRE

Les essais de laboratoire à Nogent/Marne ont été réalisés sur des éprouvettes prélevées dans des tronçons de plateaux centraux.

Ces essais ont eu pour objectifs de qualifier et quantifier l'hétérogénéité radiale de propriétés physiques des Eucalyptus.

Certains de ces résultats ont été intégrés dans les calculs pour la prédiction des déformations des bois à partir des mesures de déformations périphériques.

#### 3.2.1 Densité

Les variations radiales de densité ont été évaluées sur des barrettes diamétrales de bois de section 1x1 cm (L barrette = diamètre de la tige).

Ces barrettes ont été découpées en cubes de 1x1x1 cm, et leur volume a été déterminé à 12 % d'humidité à l'aide d'un volumétre (méthode fiable mais longue).

#### 3.2.2. Retraits linéaires totaux transversaux : retrait radial et retrait tangentiel

L'évolution radiale des retraits linéaires totaux transversaux a été évaluée à partir des résultats de mesures faites sur des éprouvettes standard (2x2x1 cm) prélevées depuis le coeur jusqu'à la périphérie des tronçons d'Eucalyptus.

Les retraits ont été déterminés entre l'état saturé et l'état anhydre des bois.

Les Eucalyptus testés n'ayant pas un diamètre très élevé ( $D < 30$  cm), et les mesures de retraits étant réalisées sur la grande dimension des éprouvettes (sur 2 cm), l'évolution radiale des retraits tangentiels a été déterminée de façon plus précise que l'évolution des retraits radiaux (nombre de points plus important sur les courbes).

De plus, les éprouvettes de retrait radial se sont parfois déformées de façon très sensible, en partie à cause du collapse, rendant difficile la détermination d'un retrait moyen. De ce fait, un retrait maximum et un retrait minimum ont été calculés pour chaque éprouvette.

#### 3.2.3 Retrait linéaire longitudinal

L'étude des retraits linéaires longitudinaux est menée parallèlement à celles des deux autres retraits linéaires, mais nécessite une approche différente.

Ces retraits sont en effet très faibles en valeur relative devant les deux retraits transversaux, et sont très souvent négligés.



Ainsi ils ne font l'objet d'aucun test conventionnel lors des campagnes de caractérisation technologique des bois tropicaux.

Cependant, leur effet sur le comportement du bois durant le séchage peut ne pas être négligeable.

Les retraits longitudinaux, s'ils sont faibles en valeur relative (coefficient compris entre 0,1 et 0,9 % selon Kollmann) peuvent dans la réalité atteindre des valeurs relativement importantes, dont les conséquences ne sont pas négligeables et risquent même d'être désastreuses pour l'emploi des bois.

En effet, les pièces de bois de dimensions commerciales sont essentiellement prélevées dans le sens du fil.

De ce fait, la dimension des pièces dans le sens longitudinal est très importante par rapport aux deux autres dimensions.

Ainsi, un élément de menuiserie de 2 mètres de long peut avoir sur sa longueur un retrait total atteignant 2 centimètres.

Ce retrait ne peut pas être négligé compte tenu des valeurs de retrait longitudinal rencontrées dans la littérature.

De plus, une forte hétérogénéité radiale de retrait longitudinal pourrait être à l'origine de déformations importantes de sciages chez certaines essences, notamment l'Eucalyptus, réputées pour leur importante hétérogénéité intrinsèque de propriétés.

De nombreux auteurs (Cockrell, Pillow,...) ont mis en évidence un lien étroit entre le retrait longitudinal et le bois de tension.

Ce type de bois est fréquent chez les essences tropicales et rend leur utilisation difficile.

Les zones de bois de tension peuvent présenter des retraits longitudinaux dont les coefficients atteignent parfois 5 fois la valeur de ceux du bois normal environnant.

Dans une étude visant à mettre au point une méthodologie permettant une mesure précise, rapide et répétitive du retrait longitudinal, Guiscafré et Sales (1978) ont essayé d'optimiser la section des éprouvettes de retrait longitudinal.

Leurs résultats conduisent à préconiser 3 sections :

- \* 1 x 1 cm
- \* 1,5 x 1,5 cm
- \* 2 x 2 cm

La section intermédiaire (1,5 x 1,5 cm) a été retenue pour les essais sur les Eucalyptus congolais.

Dans leur étude, Guiscafré et Sales utilisent des éprouvettes de 4 cm de longueur.

L'objectif principal de la détermination des retraits longitudinaux étant d'estimer la variation radiale de cette caractéristique, une longueur d'éprouvette plus importante a été jugée nécessaire.

Des éprouvettes de 10 cm de longueur ont été utilisées : éprouvettes prélevées régulièrement dans le sens longitudinal, depuis le coeur jusqu'à la périphérie.

Les variations de dimensions ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse à affichage digital.

Les références de mesure ont été matérialisées par 2 pointes à tête elliptique enfoncées aux extrémités de chaque éprouvette, et permettant un contact net avec les 2 branches du pied à coulisse.

Les mesures ont été effectuées sur les éprouvettes maintenues sur un calibre conçu à cet effet, pour une meilleure précision des mesures (incertitude de mesure voisine de 1/100 mm).



#### 4. TRAITEMENT DES DONNEES ET SYNTHESE DES RESULTATS

##### 4.1 CONTRAINTES DE CROISSANCE ET DEFORMATIONS DE SCIAGE

##### 4.1.1 Prédiction des déformations de quartier après ouverture partielle de billons

La formulation liant les déformations des quartiers de bois après ouverture des billons aux déformations périphériques enregistrées à la surface des arbres sur pied est du même type que celle utilisée lors de la campagne précédente :

$$y = A \times \epsilon / D \frac{d_s}{d_q}$$

avec  $y$  = flèche de chacun des 4 quartiers

$A$  = constante dépendant de la géométrie du billon, du mode d'ouverture, de la géométrie de la mesure périphérique, de la constante d'anisotropie du bois, de la distribution radiale des contraintes

$d_s$  = densité du bois en périphérie de la tige

$d_q$  = densité globale de la tige

$\epsilon$  = déformation périphérique à la surface de l'arbre sur pied

$D$  = diamètre moyen du billon

Le fait de ne pas travailler sur la moyenne des déformations des 4 quartiers ni sur la moyenne des 4 déformations périphériques, permet de prendre en compte l'hétérogénéité tangentielle des contraintes de surface.

Le mode de détermination de la géométrie de la déformation de l'extrémité de la bille après ouverture permet d'estimer les flèches prises par chacun des quartiers.

Pour l'ensemble des 20 Eucalyptus testés, les "y" ont été associés aux paramètres  $\epsilon$ ,  $d_s$ ,  $d_q$ ,  $D$  correspondants.

Or, il n'apparaît aucune relation linéaire entre "y" et la formulation dépendant des quatre paramètres qui caractérisent les billons (coefficient de détermination de la régression linéaire très proche de 0).

Cette absence de relation linéaire peut être imputée au fait qu'une seule valeur de  $d_s$  et  $d_q$  a été prise en compte pour les quatre quartiers de chaque arbre.

En pratique,  $d_s$  et  $d_q$  peuvent présenter une forte variabilité tangentielle liée notamment à la présence de bois de tension.

Pour que la relation linéaire puisse être mise en évidence il aurait été nécessaire d'associer un  $d_s$  et un  $d_q$  spécifiques à chaque quartier.

#### 4.1.2 Comparaison inter-espèces et inter-âges des microdéformations périphériques

Des différences d'état de contraintes surfaciques n'ont été mises en évidence que pour les comparaisons suivantes :

- E. cloeziana 12 ans / E. cloeziana 19 ans
- E. cloeziana / E. hybrides uropellita + urograndis

(cf. distributions page suivante).

Aucune différence n'apparaît entre les deux hybrides urophylla.

E. cloeziana apparaît globalement moins tendu que les deux hybrides, la différence de comportement étant particulièrement nette du fait des faibles tensions chez E. cloeziana 19 ans.

Chez E. cloeziana, l'effet "âge" sur les tensions périphériques pourrait être biaisé par un effet diamètre lié à la vitesse de croissance.

#### 4.1.3 Relation entre les fentes de coeur sur les plateaux centraux, et les déformations périphériques de surface

Le phénomène de fentes lié à la libération locale de contraintes de croissance est mécaniquement plus complexe que le phénomène de déformations qui obéit aux lois classiques de la mécanique des milieux continus.

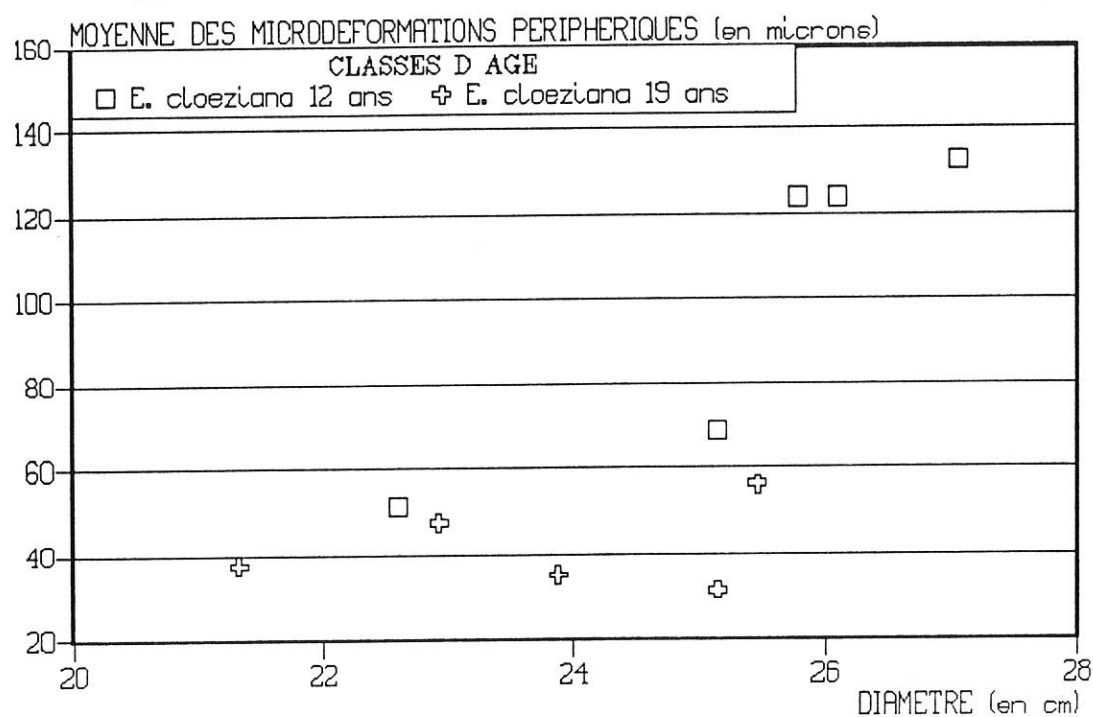
L'ouverture et la propagation de fentes ne dépend pas uniquement de l'état de contraintes et de l'état mécanique du bois mais aussi de caractéristiques particulières telles que la fissibilité du bois à coeur, la présence de défauts internes, la structure intrinsèque du matériau.

Les essais ont montré que la propagation des fissures en extrémité de plateaux dépend largement de la pente locale de fil, et de la présence aléatoire de noeuds qui dévient ou stoppent cette propagation.

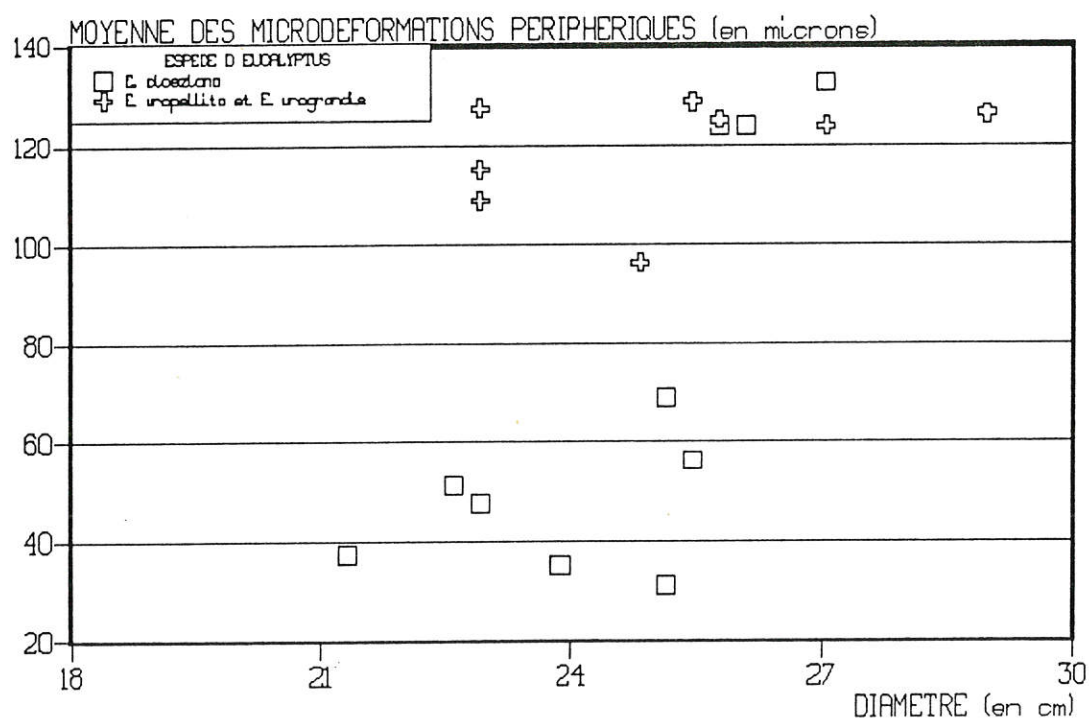
De ce fait, compte tenu de l'état actuel des connaissances, seules les largeurs des fentes en bout ont été prises en compte et utilisées comme indicateurs.

Aucune formulation mécanique simple ne permettant de relier ces ouvertures à l'état de contrainte surfacique des arbres sur pied, une formulation analogue à celle établie dans le chapitre précédent a été adoptée, intégrant les 2 caractéristiques  $d_s$  et  $d_q$ .

# MICRODEFORMATIONS PERIPHERIQUES SUR 2 CLASSES D AGE D EUCALYPTUS CLOEZIANA



# MICRODEFORMATIONS PERIPHERIQUES SUR EUCALYPTUS CLOEZIANA, UROPHYLLA ET UROPELLITA





L'évolution des ouvertures transverses  $O_m$  en fonction de  $\epsilon$  est donnée sur le graphe page suivante.

Contrairement à ce qui a été observé précédemment pour les déformations de quartier, les ouvertures à coeur des plateaux centraux et la formulation associée apparaissent fortement corrélés (coefficient de détermination égal à 0,89).

Pour ce type d'expérimentation, seule la moyenne des micro-déformations périphériques pour chaque arbre a été prise en compte.

La connaissance de l'état de contrainte en surface d'arbres sur pied couplée à la connaissance de l'état physico-mécanique de la tige permet donc expérimentalement une première prévision d'un des effets dû à la libération des contraintes de croissance durant le sciage.

#### 4.1.4 Effet "espacement de plantation" sur le niveau de contraintes périphériques des arbres sur pied

Pour Nicholson (1973), la densité de plantation des Eucalyptus n'a aucun effet sur les tensions périphériques, mais ses recherches n'avaient pas été orientées vers ce type d'investigation.

En revanche, les contraintes de croissance apparaissent positivement corrélées à la densité de plantation dans des peuplements de Hêtre en France (Saurat et Guéneau 1976).

De façon similaire, Polge (1982) observe des niveaux de contraintes importants dans des peuplements de Hêtre serrés composés d'individus présentant des couronnes étroites.

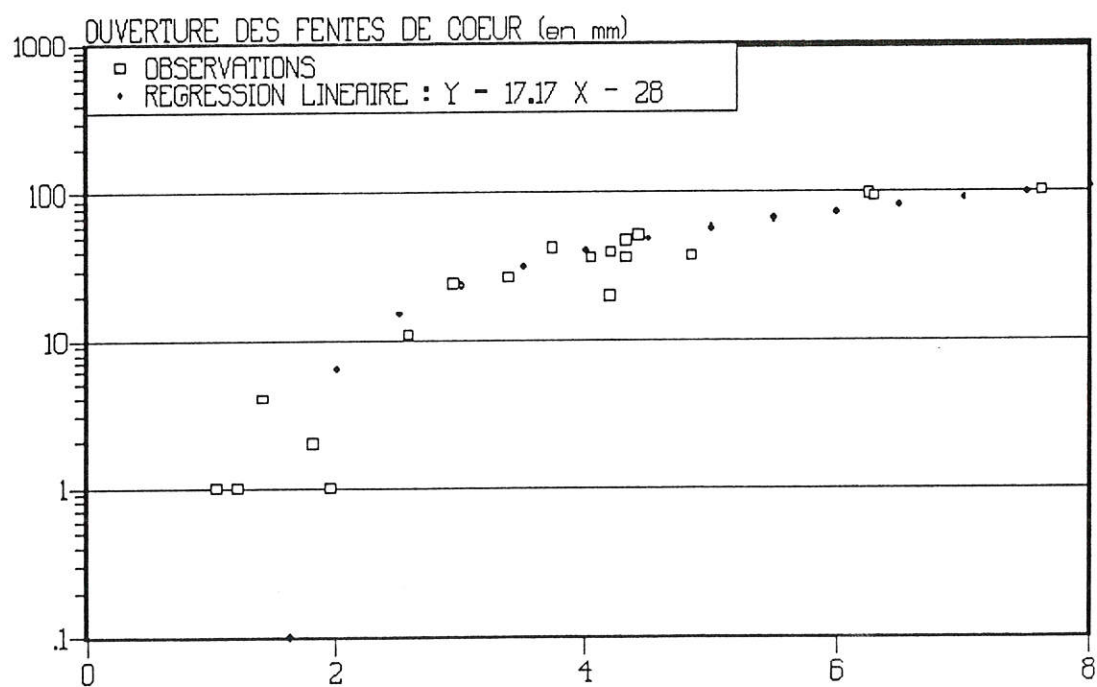
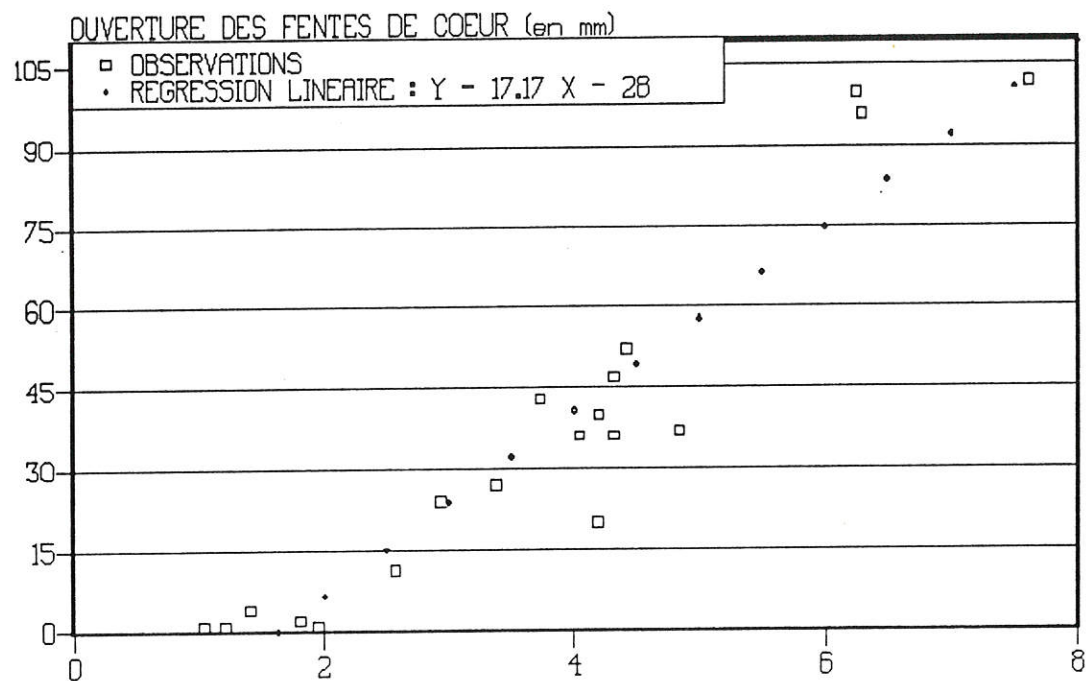
Ferrand (1982) confirme une relation positive entre la surface correspondant à la projection horizontale de la couronne et le niveau de contrainte de croissance longitudinale, pour des surfaces comprises entre 20 et 100 m<sup>2</sup> ; dans cette fourchette, les Hêtres présentant une couronne étroite sont davantage tendus.

Une vaste étude réalisée sur 220 Hêtres a montré qu'une opération d'éclaircie tend à réduire les niveaux de contraintes de croissance, en particulier dans les tiges droites (Polge 1981) qui n'ont plus à se réorienter lorsque toute compétition inter-individus disparaît. Les résultats de campagne de mesures sur des populations équiennes d'Eucalyptus australiens montrent qu'un espacement large est associé à de faibles niveaux de contraintes (Ferrand 1982).

Malan (1979) trouve une corrélation négative hautement significative entre la hauteur de couronne (exprimée en % de la hauteur totale de l'arbre) et l'intensité des fentes en bout ; les arbres situés sur des zones très ouvertes et présentant des couronnes élevées n'ont pas à se réorienter et à développer de forts niveaux de contraintes.

Les effets de l'éclaircie peuvent être variables d'un peuplement à un autre.

# RELATION ENTRE LES OUVERTURES DE PLATEAUX CENTRAUX ET LES MICRODEFORMATIONS PERIPHERIQUES MOYENNES



En effet, suivant son intensité, une éclaircie peut ou non déstabiliser un peuplement, et provoquer ou non une réorientation des tiges, réorientation génératrice de contraintes.

Dans le cadre de la campagne d'essais sur les Eucalyptus congolais, l'étude de l'effet "écartement de plantation" a été réalisée sur la parcelle 79.22 qui est un essai sylvicole d'écartement "carré" (depuis 1x1 m jusqu'à 6x6 m).

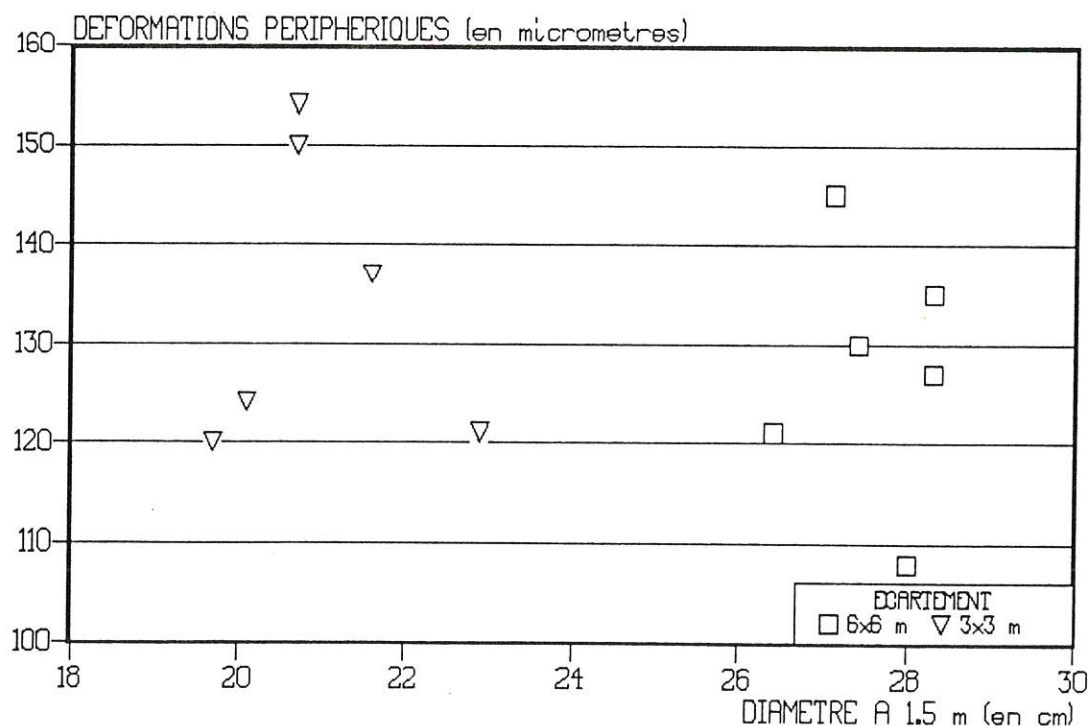
Sur cette parcelle, les déformations périphériques enregistrées sur 6 individus PF1 [clone 1.41 - écartement 6x6 m] ont été comparées à celles enregistrées sur 6 PF1 [clone 1.41 - écartement 3x3 m].

De façon à ne pas travailler sur des individus présentant des diamètres trop différents, les écartements 1x1 m et 2x2 m n'ont pas été retenus pour la comparaison.

Le graphe présenté ci-après donne la répartition des moyennes des déformations périphériques sur chaque individu en fonction de son diamètre. En considérant la théorie de Jacobs selon laquelle le niveau de contraintes périphériques à la surface d'un arbre sur pied est indépendant de son diamètre, on note pour les Eucalyptus plantés à fort écartement une tendance à être moins tendus en périphérie que les Eucalyptus plantés plus serrés.

## COMPARAISON DE DEFORMATIONS PERIPHERIQUES POUR 2 ESPACEMENTS DE PLANTATION

E.PF1 Clone 1.41 Essai 77.14





## 4.2 VARIATIONS RADIALES DES PROPRIETES PHYSIQUES

### 4.2.1 Densité (à 12 % d'humidité)

Pour les espèces et hybrides testés, l'analyse des profils radiaux de densité met en évidence une forte hétérogénéité de cette propriété.

"d" peut varier dans un rapport de 1 à plus de 1,5 entre le coeur des tiges, et la zone proche de la périphérie (cf. exemple graphe page suivante).

On observe une légère diminution de densité au voisinage de la périphérie après un maximum qui se situe à environ  $r = 3/4 R$ .

Cette allure de courbe rappelle celle observée pour les résineux. Les différents Eucalyptus étudiés ne présentent pas de profils de densité significativement différents.

### 4.2.2 Retrait total tangentiel

L'évolution radiale du retrait total tangentiel est celle qui apparaît la plus homogène ; le retrait croît régulièrement du coeur vers la périphérie puis décroît en fin de profil (décroissance semblable à celle observée pour la densité).

Le rapport entre le retrait maximum et le retrait minimum au sein d'un même profil peut être supérieur à 2 pour E. urograndis.

Dans la suite du programme, cette hétérogénéité radiale de retrait devra être mise en relation avec la présence de bois juvénile et de bois de tension (cf. dernier chapitre).

### 4.2.3 Retrait total radial

Le sens de l'évolution radiale des retraits radiaux est moins net que celui des retraits tangentiels :

- la mesure de retrait a été jugée significative pour des éprouvettes de plus de 2 cm de côté ; de ce fait, un faible nombre de mesures est réalisé sur un rayon,
- les éprouvettes standards de retrait radial (1x1x2cm) se sont souvent fortement déformées, impliquant la réalisation d'une double mesure et la prise en compte d'une fourchette de valeur pour un point donné (cf. graphe page suivante).

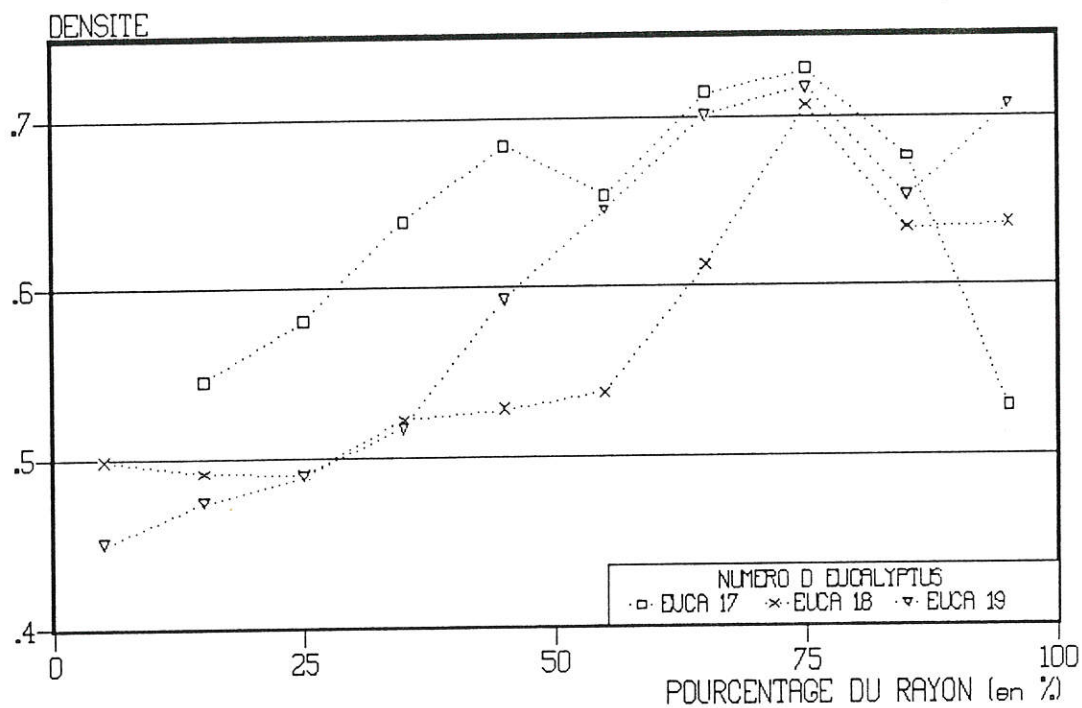
### 4.2.4 Retrait total longitudinal

Bien que les valeurs de retrait longitudinal aient été estimées de façon précise sur des éprouvettes à fort élanement (cf. paragraphe 3.2.3), aucune évolution monotone de cette propriété n'a pu être mise en évidence.

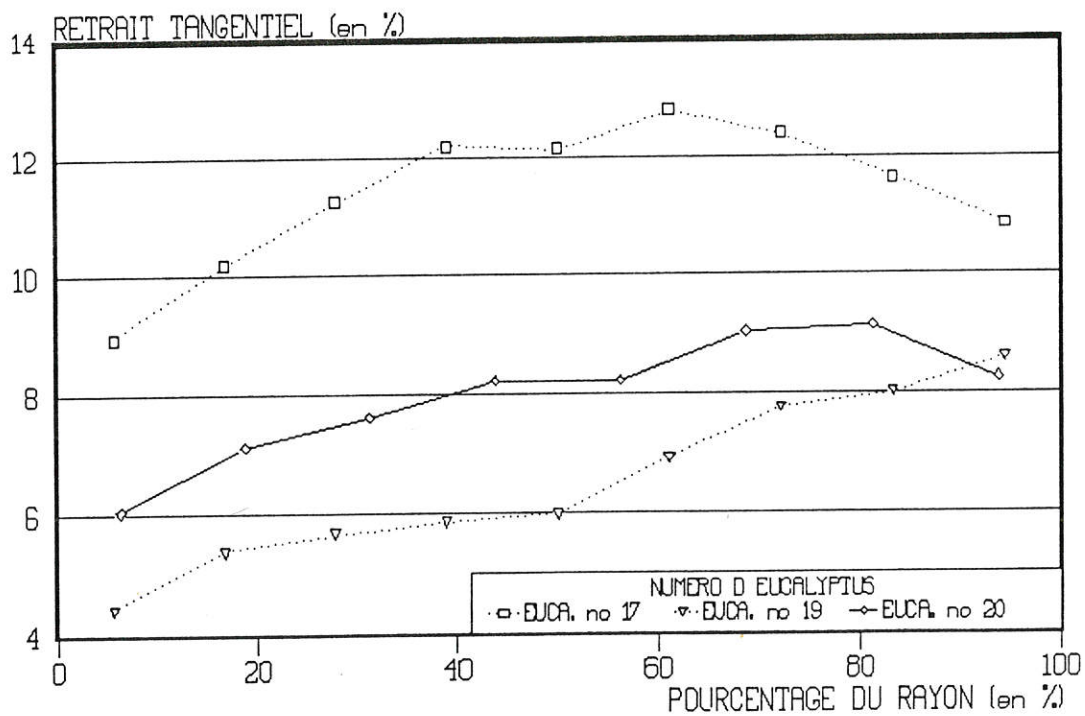
En particulier, la présence très probable de bois juvénile dans les Eucalyptus testés aurait laissé supposer une diminution du retrait longitudinal du coeur vers la périphérie ; ce phénomène n'a pas été mis en évidence de façon significative.

## EVOLUTION RADIALE DES DENSITES

EUCALYPTUS HYBRIDES UROGRANDIS

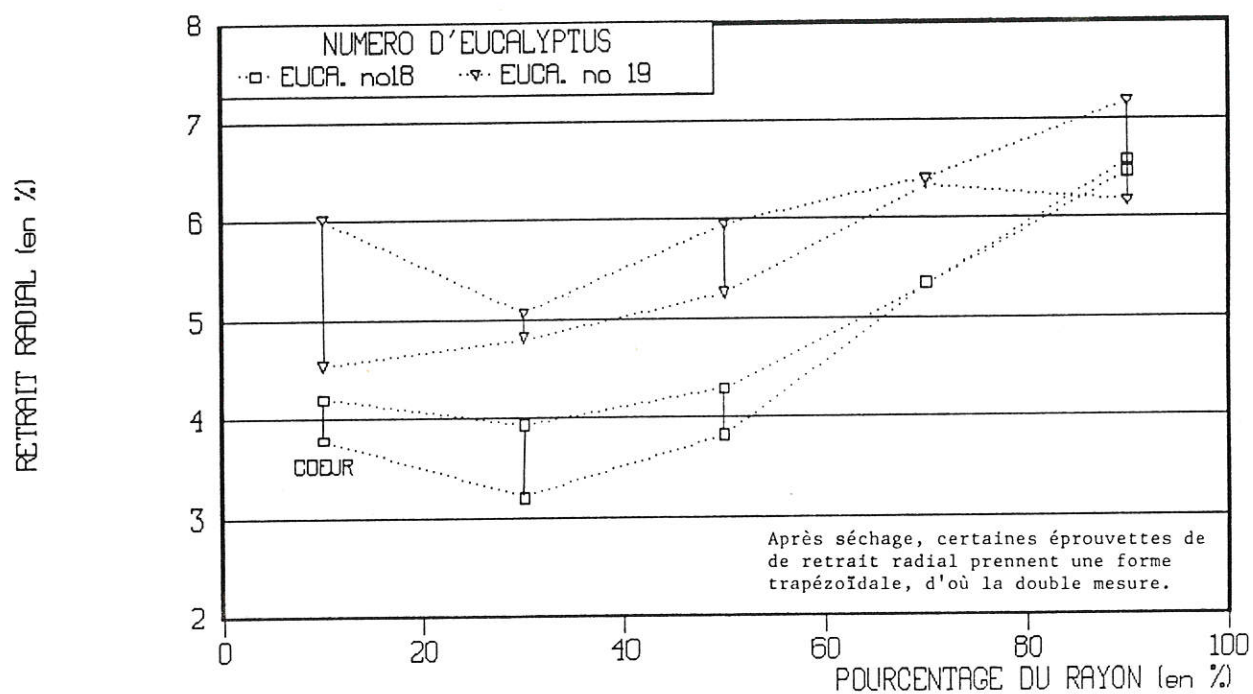
EVOLUTION RADIALE  
DE RETRAIT TANGENTIEL

EUCALYPTUS HYBRIDES UROGRANDIS



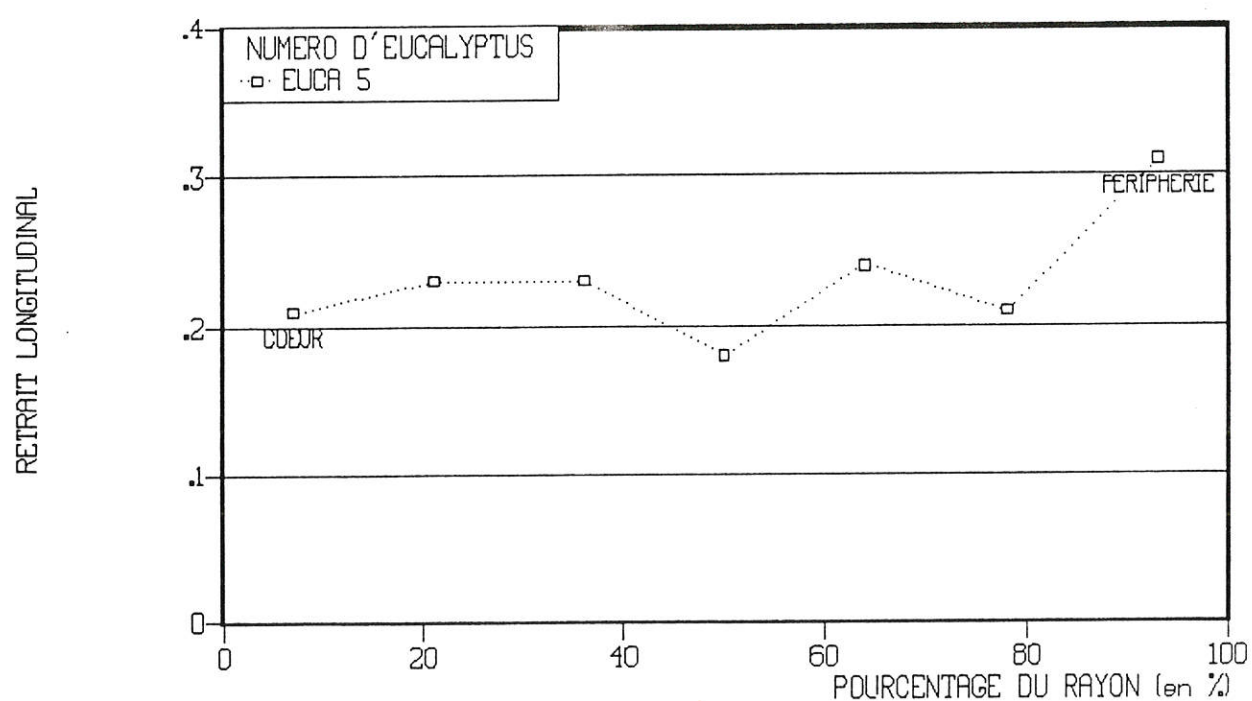
# EVOLUTION RADIALE DE RETRAIT RADIAL

EUCALYPTUS HYBRIDES UROGRANDIS



# EVOLUTION RADIALE DU RETRAIT LONGITUDINAL

EUCALYPTUS CLOEZIANA





## 5. CONTINUATION DU PROGRAMME DE RECHERCHES CONJOINTES

Les recherches à venir sur le thème "Eucalyptus" vont bénéficier d'une collaboration renforcée avec les équipes de chercheurs-bois de Montpellier et de Bordeaux (respectivement Laboratoire de Mécanique Générale des Milieux Continus [CNRS], et Laboratoire de Rhéologie du Bois de Bordeaux [Unité mixte INRA, CNRS, Universités]).

### 5.1 SCHEMA GENERAL DES RECHERCHES A VENIR

Les recherches à venir ont pour objectif de mieux comprendre l'origine des problèmes technologiques posés par les Eucalyptus en liaison avec leur **croissance**.

Les expérimentations seront réalisées sur des clones d'Eucalyptus qui constituent un matériel végétal génétiquement homogène, et non plus sur des espèces pures ou des hybrides.

De ce fait, la variabilité des résultats obtenus ne pourra pas être imputée aux facteurs génétiques.

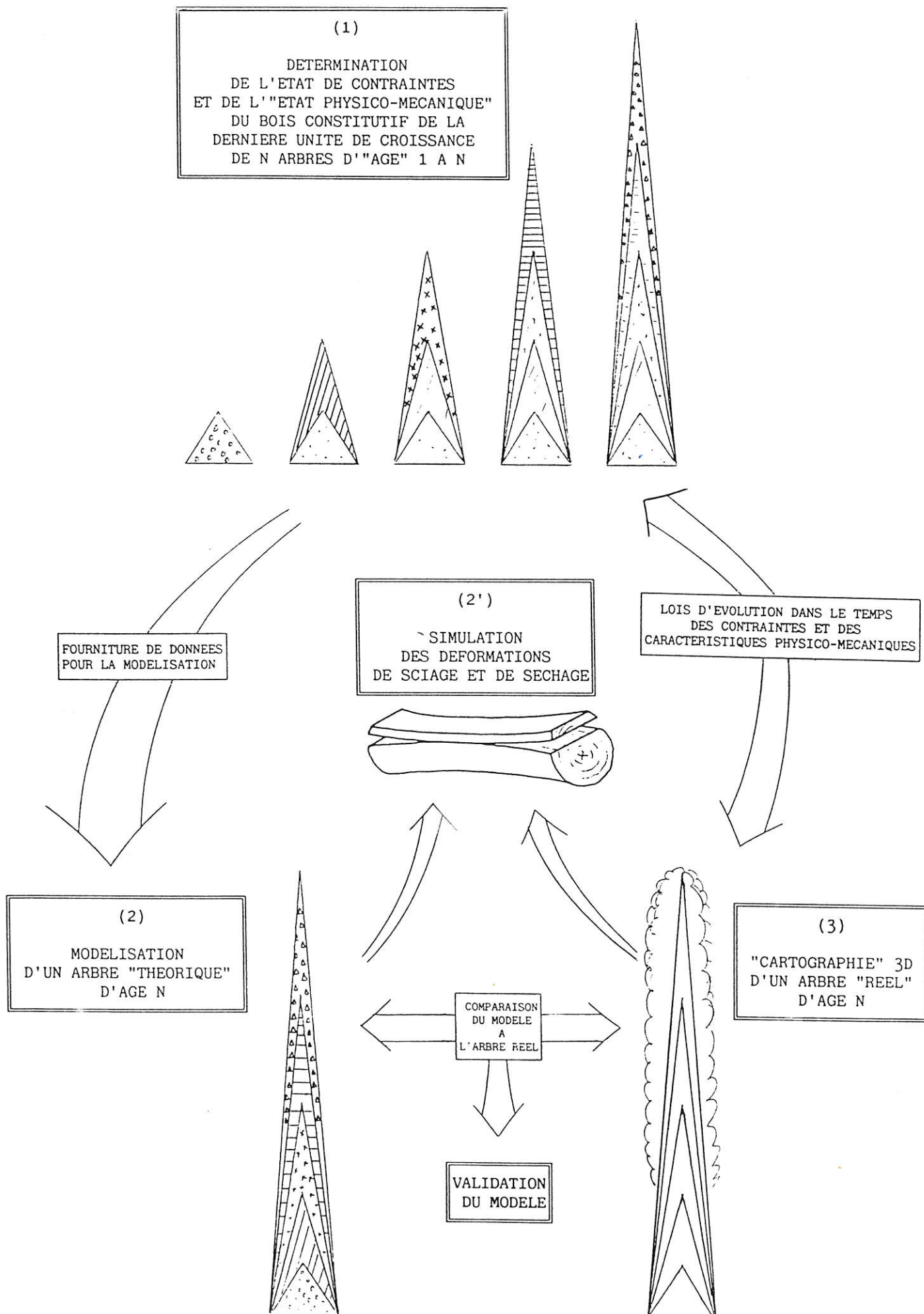
L'évolution de l'état de contrainte et de l'état physico-mécanique du bois depuis sa formation dans l'arbre jusqu'à un état adulte (à définir) conditionne sa future qualité technologique qui dépend étroitement de l'histoire de l'arbre.

Les recherches s'organiseront en particulier autour d'une reconstitution et d'une qualification de cette évolution d'états par des expérimentations menées sur des arbres d'âge croissant, jusqu'à un âge correspondant à un état adulte.

Le schéma directeur des recherches est représenté ci-après.

Phase 1 : Détermination de l'état de contraintes et de l'état physico-mécanique du bois constitutif de la dernière unité de croissance de  $nxN$  arbres d'âge 1 à  $N$ .

- \* Une caractérisation du bois situé en périphérie de l'arbre peut être envisagée avec des moyens légers ne nécessitant pas obligatoirement l'abattage de l'arbre.
- \* La notion d'âge de l'arbre doit être définie précisément ; un arbre d'âge  $N$  est constitué de  $N$  unités de croissance dont chacune n'est pas obligatoirement formée durant une année calendaire (la croissance des Eucalyptus en zone équatoriale peut ne pas suivre un rythme annuel, et ce rythme peut ne pas être périodique).
- \* Pour chaque classe d'âge,  $n$  arbres sont étudiés ;  $n$  dépend du niveau de variabilité inter-arbre des résultats ;  $n$  reste à définir.



**Phase 2** : A partir des données recueillies durant la phase 1, "reconstitution" d'un arbre théorique d'âge N.

Cette première modélisation ne prend pas en compte l'éventuelle évolution dans le temps de l'état du bois entre sa formation et l'état final (âge N).

**Phase 3** : "Cartographie 3 D" de l'état de contrainte et de l'état physico-mécanique du bois constitutif de n arbres réels d'âge N.

- \* Actuellement, l'état de contrainte du bois peut être essentiellement estimé en périphérie de l'arbre par une mesure de déformation de surface ; le passage de cette mesure locale à l'état de contrainte global d'une tige homogène de droit fil peut être fait à l'aide d'une formulation unidirectionnelle dissymétrique (Fournier 1989).
- \* L'hétérogénéité radiale des propriétés du bois d'Eucalyptus sera à prendre en compte pour déterminer l'état de contrainte global des tiges.
- \* Le détail des informations à obtenir et des moyens à utiliser pour la "cartographie" 3 D" de l'état physico-mécanique et de l'état surfacique de contrainte du bois est donné au paragraphe II.
- \* L'état de contrainte et l'état physico-mécanique du bois de l'arbre "réel" d'âge N sera à comparer au modèle théorique qui pourra être validé, éventuellement après ajustements à l'aide des lois d'évolution dans le temps des contraintes et des caractéristiques physico-mécaniques obtenues en phases 1 et 3.

Le modèle validé fournira les informations de base pour une simulation des déformations de sciage puis de séchage des bois.

## 5.2 DESCRIPTIF DE LA PHASE 3 (TACHE IMPARTIE AU CTFT) : INFORMATIONS RECHERCHEES ET MOYENS D'INVESTIGATIONS

Durant la phase 3 seront caractérisés, suivant les 3 directions d'anisotropie du bois, l'état physico-mécanique et l'état de contrainte du bois constitutif d'arbres d'âge N assimilés à des arbres adultes.

### 5.2.1 Hétérogénéité de l'état physico-mécanique de l'arbre sur pied: bois de tension et bois juvénile

Les Eucalyptus de plantation congolais, issus ou non de plantations clonales, présentent une forte hétérogénéité radiale de propriétés (cf. résultats précédents).

Cette hétérogénéité peut être due à la présence de bois juvénile (arbres à croissance rapide exploités très tôt), et de bois de tension (tiges présentant souvent un coeur excentré), bien que l'effet de ces 2 types de bois sur les propriétés physico-mécaniques ait été plus difficilement déterminé sur les feuillus que sur les conifères.



Pour chacun de ces 2 bois à structure particulière, il est nécessaire de connaître :

- les conséquences sur les contraintes de croissance et les déformations de séchage,
- les méthodes microscopiques ou macroscopiques de mise en évidence.

\* Bois de tension : entre autres particularités anatomiques, il est notamment caractérisé par la formation d'une couche gélatineuse dans la paroi secondaire des fibres nettement visible en coupe anatomique (Boyd 1980, Mariaux et Vitalis-Brun 1983, synthèses bibliographiques reprises par Fournier 1989, Chanson,...).

L'effet réel du bois de tension sur les propriétés physiques et mécaniques des Eucalyptus reste à préciser (sur les feuillus, effets amplificateurs ou réducteurs selon les auteurs - bibliographie Fournier 1989).

L'influence du bois de tension sur les contraintes de croissance est beaucoup plus marquée : il induit une tension de surface plus élevée et davantage dissymétrique dans le sens tangentiel que du bois "normal" (bibliographie Kubler 1987, Fournier 1989,...).

Les calculs de répartition de contraintes doivent prendre en compte cette dissymétrie (justification de la formulation dissymétrique de Fournier par rapport à l'axisymétrie de Kubler) ainsi que les particularités géométriques des tiges dont le coeur est excentré et la section à tendance elliptique (tendance plus ou moins marquée chez les Eucalyptus congolais).

L'inclinaison des tiges ne constitue pas un réel facteur de contrainte mais c'est leur réorientation en cours de croissance qui serait à l'origine de contraintes élevées (Kubler 1987).

\* Bois juvénile : sa mise en évidence anatomique est moins nette chez les feuillus que chez les résineux (composition chimique particulière, faible variation d'angle des microfibrilles).

Comme pour les résineux, le bois juvénile de certains feuillus (Eucalyptus) peut présenter un Rl plus élevé et un Rr et un Rt plus faibles que le bois adulte.

Pour les feuillus, le bois juvénile a une influence sur les contraintes de croissance au coeur de l'arbre où la contrainte longitudinale est plus faible que pour du bois normal, mais ne modifie pas significativement l'allure des distributions de contraintes (Fournier 1989).

### 5.2.2 Fil tors et contrefil

Les Eucalyptus présentent souvent du fil tors et un contrefil marqué considérés comme des handicaps lors de l'usinage ; ces "défauts" ont de plus un effet amplificateur sur les déformations de séchage.

"Une fibre torse ne modifie pas significativement l'état des contraintes au voisinage de la surface", cependant elle "fait apparaître, même pour de petits angles et même loin de la moelle, une composante de cisaillement assez significative" (Fournier 1989).

La présence de bois juvénile amplifie le phénomène (contrainte tangentielle plus élevée).

Pour déterminer l'état de contrainte des tiges d'Eucalyptus, il est nécessaire de prendre en compte les variations d'angle de fil du bois pour les intégrer dans le modèle, notamment les variations alternées du coeur jusqu'à la périphérie dues au contrefil :

- méthode de détermination des variations d'angle de fil (unité de croissance par unité de croissance) à définir,
- détermination des contraintes de cisaillement périphérique.

### 5.2.3 Nature et moyens d'étude des caractéristiques physiques et mécaniques

#### 5.2.3.1. Caractéristiques physiques

##### \* Retraits linéaires de séchage

##### Intérêt

- . Informations de base pour la modélisation de l'état de contrainte de séchage du bois et pour la simulation des déformations de séchage.
- . Relation avec la présence de bois juvénile et de bois de tension : variations de retraits indicatrices de variations de structure du bois.

##### Méthodes de détermination

- . Détermination des retraits entre l'état saturé et l'état anhydre (ou un état hygrométrique supérieur pour limiter l'effet du collapse).
- . Pour Rt et Rr, mesure sur éprouvettes standards ( $\approx 2 \times 2 \times 1$  cm) sauf si le collapse est trop important ; en particulier, les éprouvettes de Rr se déforment fréquemment (cf. chapitre précédent) et la mesure de dimensions après séchage peut être très imprécise ---> dimensions d'éprouvettes à optimiser pour limiter les déformations.
- . Pour Rl, des premiers essais sur éprouvettes  $1,5 \times 1,5 \times 10$  cm ont déjà donné des résultats encourageants : retraits très faibles sans tendance marquée de variation radiale mais éprouvettes très peu déformées.
- . Mesures de retraits à expérimenter sur des pièces de bois de plus grande dimension (pour Rt et Rr, disques de bois ; pour Rl, planches diamétrales) : variations de dimensions entre des couples de repères, entre le coeur et la périphérie des tiges.

Ce type de mesures locales de variations de dimensions sur pièces massives apparaît peu dans la littérature.

Bailleres (1990) détermine des retraits linéaires sur placages de Pin de dimensions commerciales.

Giordano (19??) détermine des  $R_t$  et  $R_r$  globaux sur rondelles, méthode jugée fiable pour des petits diamètres.

- . Mesures sur carottes : méthode imprécise à réexpérimenter sur des carottes de plus gros diamètre.

#### \* Densité

##### Intérêt

- . Relation avec la présence de bois juvénile et de bois de tension : variations de densité indicatrices de variations de structure du bois.
- . Indicateur prévisionnel des 9 constantes élastiques du bois (modèle de El Amri et Guitard 1987 pour les feuillus), notamment  $S_{33}^{-1}$  pour le calcul de l'état de contraintes des arbres sur pied.
- . Variations de densité indicatrices du niveau d'homogénéité du bois ---> critère direct de qualité technologique.

##### Méthodes de détermination

- . Utilisation d'un volumétre : méthode éprouvée et fiable mais longue.
- . Volume des éprouvettes déterminé à partir de leurs 3 dimensions ---> précision de la mesure ?
- . Double pesée.

### 5.2.3.2 Caractéristiques mécaniques

#### \* MOE

##### Intérêt

- . Composante élastique utilisée dans la formulation unidirectionnelle dissymétrique de Fournier ---> modélisation de l'état de contrainte.
- . Relation avec la présence de bois juvénile et de bois de tension : variations de MOE indicatrices de variations de structure du bois.

##### Méthode de détermination

- . Méthode acoustique de Bordonné : méthode fiable et répétitive ; elle permet de déterminer les MOE sans effet d'échelle, donc sur des barrettes dont la section peut être variable (épaisseur de bois variable suivant les unités de croissance).



### \* Indicateur de fissibilité

- . A définir pour la simulation de fentes de sciage à partir des résultats de la modélisation de l'état de contrainte.

### 5.2.3.3 Périodicité des mesures

#### Sens radial

- . La reconstitution de l'histoire de l'arbre "réel" est nécessaire pour valider le modèle théorique (phase 2).  
De ce fait, l'évolution radiale des caractéristiques physico-mécaniques du bois doit être déterminée en suivant le rythme des unités de croissance, et non pas en % du rayon.

Les Eucalyptus du Congo ne présentent pas à proprement parlé de cernes. L'observation d'une section transversale permet cependant de distinguer une périodicité dans la formation du bois suivant un rythme irrégulier qui apparaît "quasi-annuel".

#### Sens longitudinal

- . La périodicité longitudinale des mesures découle de l'analyse architecturale des Eucalyptus : l'unité de variation est l'unité architecturale.

### 5.2.3.4 Cas du collapse

Le collapse est un des défauts technologiques majeurs de l'Eucalyptus. Dès 1915, le phénomène est reconnu comme différent du retrait normal de séchage et Tiemann l'explique par la création d'une tension longitudinale supérieure à la résistance en compression des parois des cellules, et due à la formation de ménisques d'eau de faibles rayons.

Depuis, de nombreuses études ont été menées sur le sujet avec différents objectifs :

- singularités anatomiques du bois sensible au collapse (Wilkins et Wilkes 1987, Cronshaux 1960, Ilic et Hillis 1986, Kauman 1964, Kuo et Arganbright 1978, Bisset et Ellwood 1951,...),
- identification d'indicateurs physiques indirects du collapse (Chafe 1985-1986, Ilic et Hillis 1984-1986, Chudnoff 1961,...),
- détermination de plages d'humidité privilégiant l'apparition de collapse (Kauman 1964, Terazawe et Hayashi 1974,...),
- recherche de techniques permettant de limiter l'effet du collapse (Kauman 1964, Hillis 1978, Barnacle et al. 1967, Campbell et al. 1978).

L'hétérogénéité radiale de la sensibilité du bois au collapse au sein de tige d'Eucalyptus et les relations collapse-bois juvénile, collapse-bois de tension ont été peu abordées dans la littérature.

Cette hétérogénéité radiale pourrait être étudiée de façon analogue à celle des propriétés physico-mécaniques.

Le collapse peut être caractérisé de différentes façons :

- . [retrait volumique total] - [retrait volumique après reconditionnement] (= collapse "mesuré", Chafe 1985).
- . [Retrait volumique total] - [densité x PSF] (= collapse calculé, Chafe 1985).
- . Retrait volumique total utilisé comme indicateur de collapse (Ilic et Hillis 19??).
- . Différence entre le retrait total d'un échantillon et le retrait dans la même direction structurale d'un "end-matched cross-section" d'1 mm d'épaisseur dans le sens des fibres (Kauman 1961).

Ilic et Hillis (1986) définissent un "Collapse Factor" :

$$CF = \frac{p^2}{s} = \frac{(\text{périmètre de la section transversale d'une planche})^2}{\text{surface de la section transversale d'une planche}}$$

p intègre la longueur des fentes intérieures visibles sur la section

s est la surface totale de la section hors fentes.

CF apparaît très fortement lié au collapse (déterminé suivant la méthode Kauman). Les auteurs considèrent cette variable comme particulièrement adaptée à une quantification du collapse en laboratoire.

L'utilisation de CF pourrait être appliquée à l'étude de l'hétérogénéité radiale de la sensibilité des bois au collapse.

#### 5.2.3.5 Mesures des contraintes périphériques

Pour modéliser l'état de contrainte global des arbres sur pied suivant la formulation unidirectionnelle dissymétrique de Fournier, quatre (ou huit) mesures périphériques de déformations locales sont nécessaires.

##### Capteur mécanique CTFT

Inconvénient :

- \* le perçage d'un seul trou peut ne pas suffire pour enregistrer la totalité des déformations libérables,
- \* "le perçage en un point peut commencer à libérer les contraintes aux points voisins" (Eucalyptus de faible diamètre).

##### Capteur à jauges utilisé en Guyane : libération des contraintes par rainurage

- > comparaison possible des 2 systèmes pour définir le niveau de précision du capteur CTFT (souple d'emploi) par rapport au capteur électrique à jauges.

### 5.3 ECHANTILLONNAGE

Les travaux porteront sur des clones issus des deux hybrides les plus courants au Congo, et seront choisis en fonction de leur disponibilité selon les deux critères suivants :

- \* clones disponibles à tous les âges de leur évolution sur une période d'au moins une dizaine d'années,
- \* clones présentant des sylvicultures identiques (essentiellement écartements et fertilisation) afin que l'âge soit le seul facteur de variabilité à prendre en compte.

D'après les résultats de la bibliographie "Congo", les clones répondant aux critères définis ci-dessus correspondent à ceux sélectionnés très tôt par les améliorateurs et utilisés comme clones témoins pour les tests clonaux, ou pour les plantations industrielles.

On peut notamment citer :

- Hybride PF1 : clones 1-38 , 1-41 , 1-45
- Hybride saligna : clones 2-3 , 2-6 , 2-32

Pour les parcelles expérimentales et les parcelles industrielles mises en place à partir de 1982, les écartements de plantation et les fertilisations sont constants (respectivement 3 x 4,7m (ou 5m) ; NPK 13-13-21 100 g par plant).

De ce fait, sur 8 années, on devrait disposer de clones homogènes en sylviculture qui pourront être retenus pour le plan d'échantillonnage.

Le choix définitif des clones et des parcelles de travail est à établir après avis des forestiers du CTFT Congo et de l'UAIC.



## POUR LE PLAN D'ECHANTILLONNAGE :

## CHANGEMENT D'ECARTEMENT ET DE FERTILISATION

	CTFT	UAIC
	Ecartement ! Fertilisation Ecart.-Essais-Clône! Fertil.-Essais-Clône	Ecart. ! Fertilisat.
1975	3.5x3.5 4x4 5x5	
1976		
1977	5 <sup>a</sup> 77.14 Bloc 1.41 1 <sup>a</sup> → 6 <sup>a</sup>	
1978	5 <sup>a</sup> 78.13 Ma. 1.45 3.5-4-4,5-5-6	
1979	4 <sup>a</sup> 79.10 Nelder 2.3-2.6	
1980	4,5 <sup>a</sup>	
1981	4,5 <sup>a</sup> 81.29 Ma. 1.45 2,5-3,1-3,85- 4,8-6	
1982	5x3	
1983	5x3	
1984	5x3	4,7x3 * NPK (100g)*
1985	5x3	4,7x3 * NPK (100g)*
1986	5x3	4,7x3 NPK (100g)
1987	5x3	4,7x3 NPK (100g)
1988	5x3	4,7x3 NPK (100g)
1989	5x3	4,7x3 NPK (100g)
1990	5x3	4,7x3 NPK (100g)

\* : Parcelles disponibles en plantations industrielles ?

3.4. BOISEMENTS REALISES DEPUIS LA CREATION DE L'U.A.I.C.

UAIC

Le tableau ci-dessous décrit les plantations réalisées depuis la création de l'U.A.I.C. : surfaces afforestées, écartements, fertilisation.

CARACTERISTIQUES DES BOISEMENTS U.A.I.C.

Année	Surface (ha)	Ecartements E x e	Fertilisation
1978	461,17	5 x 5	KCl en plein (2 épandages)**
1979	2 751,28	5 x 5	KCl en plein (2 épandages)**
1980	2 921,82*	5 x 5	KCl en plein (2 épandages)**
1981	2 409,78	6 x 4	KCl en plein (2 épandages)**
1982	1 008,38	6 x 4	KCl en plein (2 épandages)**
1983	5 043,49	5 x 3	KCl en plein (2 épandages)**
1984	5 095,87	4,7 x 3	NPK 13, 13, 21 100 g/plant
1985	3 078,23	4,7 x 3	NPK 13, 13, 21 100 g/plant
1986	637,85	4,7 x 3	NPK 13, 13, 21 100 g/plant
1987	-	-	-
TOTAL	23 407,87*		

(\*) dont 1 008,32 ha de Pins

(\*\*) le deuxième épandage était réalisé à 24 mois (plant par plant)

Les clones utilisés jusqu'alors sont, en majorité, des PFI et des 12 ABL x saligna, avec une légère dominance des PFI.

TABL. N° 3

CTFT

Test clonal	Ecartement	Engrais	Nombre de plants	Remarques
75:1	3,5 x 3,5	30g 10 10 20 par 150g KCL/ha plant:	50	Certains clones mis en place en mars 76 au lieu de novembre 75, ont souffert de la sécheresse de 78.
78:2	4 x 4	idem	50	idem
77:10	5 x 5	300 kg KCL /ha	50	Entretien de 1 <sup>re</sup> année tardifs, perturbation par emplacement ancien village et proximité galerie forestière.
75:15	5 x 5	300 kg KCL/ha	50	Entretiens de 1 <sup>re</sup> année rares et tardifs.
K78:6	5 x 5	150 kg KCL/ha:	25, 44, 50	3 lignes de bordure
K78:11	5 x 5	150 kg KCL/ha:	15	
75:4	4 x 4	150 kg KCL/ha	25	
79:6	4 x 4	150 kg KCL/ha	25	
80:28	4,5 x 4,5	100 g 13 13 21 dans le trou de plantule	25	1 seule ligne de bordure
81:27	4,5 x 4,5			
RB2:3	5 x 3	idem	25	
RB3:7	5 x 3	idem	25	
RB4:6	5 x 3	?	25	
RB4:8	5 x 3	idem	25	
85:4	"	"	"	
85:5	"	"	"	
TC L				

82:1	5 x 3	400 g 13.13.21	25
82:2	"	"	"
82:3	"	"	"
82:4	"	"	"
82:5	"	"	"
82:6	"	"	"

Transmis par  
B. MARTIN - UAIC

Matériel encore sur pied à l'UAIC  
au 25-4-91.

date de plantation.	age	n° des clones.	surfaces
1978	13 ans	1-41	1ha
1979	12	1-41 1-45	1ha 48ha*
1980	11	2-121	1
1981	10	1-38 2-32 2-37 2-6	34 40* 17* 17*
1983	8	<u>nombreux clones,</u> <u>PF1:</u> 1-25, 1-26, 1-41, 1-45, 1-48 1-60, 1-117, 1-121, ... <u>HS2:</u> 2-6, 2-13, 2-32, 2-36, 2-37, 2-51, 2-52, 2-58, L2-70, L2-71 L2-73, L2-130	?
1984	7	<u>nombreux clones :</u> <u>PF1:</u> 1-13, 1-26, 1-41, 1-45, 1-55, 1-59, 1-63, 1-96, 1-114, 1-117	
1985	6	<u>out sur pied</u> <u>PF1</u> 1-26, 1-41, 1-62, 1-63, 1-59, 1-96, 1-114, 1-118, 1-121. <u>HS2:</u> 2-6, 2-13, 2-32, 2-35, 2-37, 2-96 L2-73, L2-103, L2-123, L2-130, L2-101 L2-40.	
1986	5	<u>PF1:</u> 1-41, 1-45, 1-62, 1-96 <u>HS2:</u> 2-6, 2-13, 2-32, 2-37, 2-96, L2-101, L2-103, L2-107, L2-123.	
1987		pas de plantation	

\* parcelles fortement éclaircies par récolte de poteaux.



**RECHERCHES POUR LA VALORISATION EN BOIS D'OEUVRE  
DES EUCALYPTUS DE PLANTATION**

**Jean Gérard**

**Ingénieur de Recherches  
Centre Technique Forestier Tropical  
Nogent sur Marne, France**

**RESUME**

La valorisation en bois d'oeuvre des Eucalyptus de plantation est typiquement limitée par les contraintes de croissance qui se développent dans les arbres sur pied et par les contraintes de séchage, phénomènes qui sont à l'origine de fentes et de déformations dans les bois lors des opérations d'abattage, de sciage et de séchage.

Ces contraintes présentent une forte variabilité liée à des facteurs intrinsèques (présence de bois de tension et de bois juvénile associée à une importante hétérogénéité des propriétés physico-mécaniques du bois) et externes (âge des arbres, facteurs génétiques, sylvicoles et édaphiques).

Pour étudier et comprendre ces phénomènes afin de résoudre au mieux les problèmes technologiques qu'ils engendrent, le CTFT s'est engagé dans un programme de recherches en collaboration avec différents partenaires : les deux équipes de chercheurs en Sciences du Bois de Bordeaux et de Montpellier, mais aussi des partenaires étrangers tels que la Chine, le Portugal, l'Espagne, et surtout le Congo où sont disponibles des plantations clonales d'Eucalyptus qui constituent un matériel végétal génétiquement très homogène.

Mots-clés : Technologie du bois, Eucalyptus, Congo, Contraintes de croissance, Séchage.

**CONTEXTE DES RECHERCHES**

Les plantations d'Eucalyptus hors de leur aire naturelle de répartition (Australie et îles avoisinantes) ont répondu et répondent encore à des objectifs de différentes natures, notamment :

- la protection et la stabilisation des sols érodés et appauvris,
- la production de combustibles pour les populations locales,
- la fourniture d'une matière première de haute qualité pour la fabrication de pâte à papier.

En réalité, ces boisements ou reboisements ont bien souvent été entrepris sans une réelle réflexion sur le devenir et les futures possibilités d'utilisation des bois arrivés à maturité.

Aujourd'hui, des centaines de milliers d'hectares de plantations sont ainsi prêts à être récoltés en zone tropicale ou sub-tropicale.

En toute logique, les producteurs d'Eucalyptus cherchent à valoriser leur ressource en lui apportant davantage de valeur ajoutée, notamment par une transformation en bois d'oeuvre.

### PROBLEMATIQUE DE LA VALORISATION EN BOIS D'OEUVRE DES EUCALYPTUS DE PLANTATION

Le bois des Eucalyptus de plantation à croissance rapide ne peut être suffisamment et efficacement caractérisé à l'aide des tests conventionnels et suivant des protocoles standards conçus pour les bois de forêts naturelles.

Ces derniers présentent des propriétés moins hétérogènes du fait de leur croissance lente et de leur plus grande maturité lors de leur exploitation.

Le Centre Technique Forestier Tropical (CTFT) s'est donc engagé dans un programme de recherches sur la valorisation technologique des Eucalyptus de plantation à croissance rapide, plus particulièrement sur la mise au point pour ces bois d'une méthodologie de caractérisation indispensable avant toute transformation industrielle.

Les deux principaux facteurs qui limitent la transformation en bois d'oeuvre de cette essence sont les contraintes de croissance et les déformations de séchage, en relation avec une forte hétérogénéité des propriétés physico-mécaniques du bois liée à la présence de bois juvénile et de bois de réaction.

Pratiquement, après abattage et surtout après sciage, la libération des contraintes de croissance résiduelles est à l'origine de fentes et de déformations sur les bois. Durant le séchage, le même type de défauts se manifeste, en relation avec d'autres phénomènes (collapse, hétérogénéité de retraits, ...).

Les recherches engagées sur ces facteurs limitants ont pour objectif une meilleure connaissance :

- \* de leur niveau d'influence sur la qualité de transformation et de mise en oeuvre des bois,
- \* de leur variabilité en fonction :
  - de l'âge des bois,
  - des conditions d'environnement,
  - des conditions d'interventions sylvicoles,
  - des espèces, hybrides ou clones considérés.
- \* des moyens et procédés technologiques envisageables pour limiter leur importance.



Plusieurs projets ont été lancés par le CTFT sur ce thème, en collaboration avec la Chine, le Portugal, l'Espagne, et surtout avec le Congo qui dispose aujourd'hui d'importantes plantations clonales d'Eucalyptus, application spectaculaire du savoir-faire apporté par le CTFT.

Les objectifs de ces différents projets sont en partie similaires : quelle que soit la localisation géographique des plantations d'Eucalyptus considérées, la problématique de valorisation en bois d'oeuvre de cette essence reste la même, les facteurs limitant cette valorisation étant identiques.

## PROJETS "TECHNOLOGIE DES EUCALYPTUS POUR LE BOIS D'OEUVRE" CTFT/ASIE ET CTFT/EUROPE

### Projet "Chine"

Ce projet de coopération franco-chinois est axé sur la valorisation en bois d'oeuvre des Eucalyptus locaux (*E. citriodora*, *E. leizhou* n°1 (hybride), *E. citriodora*) et des Peupliers.

Le partenaire local est le "Chinese Research Institute of Wood Industry" (CRIWI), département de l'Académie Forestière de Pékin.

Les deux principaux objectifs de ce projet sont :

- le développement de l'utilisation des Eucalyptus pour la construction, en particulier en zone rurale, en intégrant les pratiques et savoir-faire locaux,
- l'amélioration des procédés de transformation des bois de petit diamètre pour produire des débits correctement sciés et séchés, en remplacement des bois de forêt naturelle importés du nord-est du pays, ou de l'étranger.

### Réseau Eucalyptus Européen

Le Réseau Eucalyptus Européen regroupe plusieurs laboratoires français (CTFT, CTBA), espagnols (INIA, AITIM) et portugais (LNETI)<sup>(1)</sup>.

Les travaux menés dans le cadre du réseau concernent toutes les phases de la transformation industrielle en bois d'oeuvre des Eucalyptus ibériques (*E. globulus*, *E. camaldulensis*) : abattage, sciage, déroulage, séchage, délignage, collage-assemblage, finition. Ils devront contribuer à fournir aux industriels une matière première de bonne qualité et des technologies adaptées à sa transformation.

---

(1) CTBA : Centre Technique du Bois et de l'Ameublement

INIA : Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias

AITIM : Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y corcho

LNETI : Laboratorio Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial



Il est à noter que le Chili exporte déjà des sciages d'*Eucalyptus globulus* de plantation dont la qualité est tout à fait satisfaisante.

Ces sciages sont vendus en Europe sous l'appellation "Chilean oak"!

Une meilleure valorisation des *Eucalyptus* constitue un enjeu économique majeur pour la Péninsule Ibérique qui dispose d'une ressource abondante (plus de 800.000 hectares de plantations) à productivité satisfaisante (possibilités d'obtention de bois de 40 cm de diamètre en 40 ans).

De plus, l'utilisation de cette essence en bois d'oeuvre ne sera pas pénalisante pour l'industrie de la pâte à papier, actuellement seule consommatrice de cette ressource. En effet, cette industrie ne s'approvisionne qu'en grumes de petits diamètres, écartant ainsi les gros bois qui pourraient être valorisés par sciage ou déroulage.

#### LE PROGRAMME DE RECHERCHES ENGAGE PAR LE CTFT AU CONGO

Les recherches engagées sur la technologie des *Eucalyptus* à croissance rapide du Congo constitue une des composantes majeures du Programme Technologie du Bois du CTFT.

Le choix du Congo comme terrain d'expérimentation a été guidé par :

- \* les relations privilégiées entretenues par le CTFT Nogent/Marne avec le CTFT Congo et l'Unité d'Afforestation Industrielle du Congo (UAIC),

mais surtout et principalement par :

- \* la grande variété du matériel végétal qui y est disponible :
  - les plantations expérimentales du CTFT (environ 6000 ha), composées de plus de 60 espèces d'*Eucalyptus* introduites depuis 1953, et sur lesquelles ont été réalisés de nombreux tests sylvicoles, de provenance, d'adaptation d'hybrides et de clones,
  - les plantations industrielles à vocation papetière de l'UAIC (environ 30.000ha) composées essentiellement de clones issus des deux hybrides les mieux adaptés à la région de Pointe-Noire : *E. PF1* (*E. alba* x *E. urophylla*) et *E. 12ABL* x *E. saligna* (*E. 12ABL* = *E. tereticornis* provenance Madagascar)

Ces plantations constituent un champ expérimental quasi unique, idéal pour une campagne de recherche sur le comportement technologique des *Eucalyptus*.

#### Intérêt du programme

Sur un plan scientifique, il contribue à mieux comprendre pour mieux maîtriser les facteurs qui sont à l'origine de la qualité des

Eucalyptus de plantation.

Compte tenu de la nature du champ d'investigations que constituent les plantations clonales congolaises, il est possible de disposer d'un matériel végétal génétiquement très homogène, parfaitement adapté aux expérimentations dont un des objectifs principaux est d'évaluer l'effet du milieu, des traitements sylvicoles, et l'influence du génotype sur les caractéristiques technologiques étudiées.

Une meilleure connaissance de l'évolution de ces caractéristiques au cours de la croissance des arbres en relation avec les techniques sylvicoles mises en oeuvre, l'environnement local et l'espèce considérée, permettra de définir les paramètres de production et de récolte optimums pour l'obtention d'une ressource valorisable de façon satisfaisante en bois d'oeuvre.

#### **Un cadre de collaboration scientifique privilégié**

Pour mener à bien les recherches programmées, le CTFT a renforcé sa collaboration scientifique avec les équipes de chercheurs du Laboratoire de Rhéologie du Bois de Bordeaux (Unité mixte Université/CNRS/INRA) et du Laboratoire de Mécanique Générale des Milieux Continus de Montpellier (CNRS/Université des Sciences et Techniques du Languedoc).

Cette collaboration étroite sert de cadre à la réalisation de deux thèses de doctorat en Sciences du Bois sur le thème "Eucalyptus". Les deux doctorants sont amenés à travailler dans chacun des trois laboratoires partenaires (Nogent/Marne, Montpellier et Bordeaux), en "navigrant" entre ces trois unités pour profiter des compétences qui y sont spécifiquement disponibles.

#### **Des résultats prometteurs pour les premières mesures de contraintes de croissance**

Les contraintes internes de croissance, facteur limitant majeur pour une utilisation en bois d'oeuvre des Eucalyptus, ont fait l'objet de nombreuses études et recherches dont les objectifs étaient de comprendre, l'origine de leur formation sur un plan anatomique et mécanique, ainsi que de contrôler le phénomène en lui-même ou ses effets induits lors de la transformation des bois (Guéneau 1973, Archer 1986, Kubler 1987, Fournier 1989).

Le niveau de contraintes de croissance développées par certains Eucalyptus congolais a pu être estimé par des mesures non-destructives effectuées à la surface d'arbres sur pied :

Le phénomène "contraintes de croissance" correspond de façon très schématique à une différence de comportement mécanique du bois entre le coeur et la périphérie des tiges. Au coeur des arbres, le bois est généralement comprimé longitudinalement tandis qu'en périphérie, le bois est soumis à des contraintes de tension.



Une appréciation du niveau moyen de cette tension du bois en surface d'arbres sur pied à l'aide d'un Extensomètre conçu au CTFT a déjà permis de comparer différentes espèces d'Eucalyptus. Certaines développent un plus faible niveau de contraintes de croissance, d'où une moindre déformation des bois lors de l'ouverture des grumes, phénomène observé in situ.

Ainsi, *Eucalyptus cloeziana* est apparue comme l'espèce la plus apte à une valorisation en bois d'oeuvre sous réserve d'un séchage satisfaisant.

L'étude des contraintes de croissance et de séchage doit être largement approfondie afin de mieux en cerner les origines et la variabilité.

### Les résultats attendus

Lorsque la méthodologie de caractérisation technologique des Eucalyptus de plantation sera mise en place et éprouvée, il sera alors possible de l'appliquer de façon systématique et de sélectionner les espèces, hybrides ou clones d'Eucalyptus qui, à un âge donné, selon un traitement sylvicole donné, seront à même de fournir du bois d'oeuvre dans des conditions technologiquement satisfaisantes.

A ces Eucalyptus sélectionnés pourront être appliquées des techniques et technologies de transformation éprouvées, telle que la technique du Bois Massif Reconstitué, qui permettront de valoriser au mieux ces bois de plantation.

Ce type de valorisation constitue un enjeu économique majeur pour les régions tropicales dans lesquelles une diminution de la pression sur les forêts naturelles devient une nécessité absolue.

### BIBLIOGRAPHIE

- ARCHER R.R., 1986 : Growth stresses and strains in Trees . Springer series in Wood Science, Ed; E. Timell, Springer Verlag.
- FOURNIER M., 1989 : Mécanique de l'arbre sur pied : maturation, poids propre, contraintes climatiques dans la tige standard . Thèse de Doctorat en Sciences du Bois, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- GUENEAU P., 1973 : Contraintes de croissance . Cahiers Scientifiques n°3 de Bois et Forêts des Tropiques, Centre Technique Forestier Tropical, Nogent sur Marne.
- KUBLER H., 1987 : Growth Stresses in Trees and Related Wood Properties. Forest Products Abstracts, Vol.10 n°3 : 492-584

Le 15 décembre 1990